

THE INSTITUTE OF OPHTHALMOLOGY
LONDON

EX LIBRIS

1591

DIE FUNKTIONSPRÜFUNG DES AUGES

UND IHRE VERWERTUNG

FÜR DIE ALLGEMEINE DIAGNOSTIK.

FÜR ÄRZTE UND STUDIERENDE

VON

PROF. DR. O. SCHWARZ
IN LEIPZIG.

MIT 81 FIGUREN IM TEXT UND EINER TAFEL.

BERLIN 1904
VERLAG VON S. KARGER
KARLSTRASSE 15.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

SEINEM HOCHVEREHRTEN LEHRER

HERRN

PROFESSOR DR. VÖLCKERS,

GEH. MED.-RAT UND DIREKTOR DER UNIVERSITÄTS-AUGENKLINIK
IN KIEL

IN DANKBARKEIT

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

Vorwort.

Die systematischen Lehrbücher der Augenheilkunde besprechen die Funktionsstörungen des Sehorgans naturgemäß bei den einzelnen Erkrankungen und abnormen Zuständen des Auges, bei denen sie vorkommen, und ersparen sich daher ihre Wiederholung bei der Darstellung der Funktionsprüfungen. Es ist vor allem Aufgabe des praktischen Unterrichts, den Studierenden mit dem diagnostischen Denken vertraut zu machen, ihn daran zu gewöhnen, mit den Störungen, die er bei systematischer Funktionsprüfung auffindet, sogleich die Vorstellung der verschiedenen möglichen Erkrankungen zu verbinden, und aus der Gesamtheit der Funktionsstörungen und der objektiven Veränderungen die Diagnose abzuleiten. Recht wenige erwerben sich aber während ihres Studiums die nötige Fertigkeit, um bei ihrer späteren ärztlichen Thätigkeit die Untersuchung des Sehorgans und seiner Leistungen genügend zu beherrschen und diagnostisch zu verwerten. Diese Untersuchung, vor allem die Funktionsprüfung zusammen mit der Augenspiegeluntersuchung, giebt jedoch oft höchst wichtige Aufschlüsse über innere Krankheiten; für die Erkrankungen des Zentralnervensystems zumal ist sie ebenso unentbehrlich, wie die physikalischen Untersuchungsmethoden für die Lungen- und Herzkrankheiten. Für die ophthalmoskopische Diagnostik bieten die allgemeinen und die besonderen Lehrbücher vorzügliche Hilfsmittel. Die allgemeine diagnostische Bedeutung der Funktionsstörungen dagegen muß sich der Lernende aus den klinischen Darstellungen der Lehrbücher mühsam ableiten, soweit er sich nicht in den Vorlesungen damit vertraut gemacht hat. Es dürfte daher der Versuch berechtigt sein, die Funktionsprüfungen im Zusammenhang mit den Funktionsstörungen und ihren nächsten Ursachen gesondert darzustellen und dann zu zeigen,

wie die Ergebnisse der Funktionsprüfungen für sich und im Verein mit anderweiten Untersuchungsergebnissen noch weiter diagnostisch zu verwerten sind.

Bei diesem Versuch handelt es sich natürlich nicht um eine erschöpfende Darstellung sämtlicher Funktionsprüfungen, sondern nur um eine Darstellung dessen, was im Interesse des Arztes — und seiner Kranken — geboten erschien, um ihn zur Erkennung vorhandener Störungen zu befähigen. Ich hoffe, im wesentlichen die richtige Auswahl getroffen zu haben; Verbesserungsvorschläge werden mir willkommen sein, ich wünschte nur, sie auch verwerten zu können.

Für das Verständnis der Funktionsprüfungen des Auges ist eine gewisse Kenntnis der Optik unerläßlich. Da die Lehrbücher der Physik die Optik nicht im besonderen Interesse des Arztes behandeln, werden im ersten Teile die Grundzüge der Optik des Auges dargestellt, wobei kaum die elementarsten geometrischen und trigonometrischen Kenntnisse vorausgesetzt sind. Formeln wurden möglichst sparsam gebraucht, da sie dem nicht mathematisch gebildeten Leser nichts Anschauliches sind; um so mehr wurde eine möglichst leicht verständliche geometrische Entwickelung der Dioptrik von den ersten Grundbegriffen an erstrebt. Die astigmatische Lichtbrechung wurde ziemlich abweichend von den bisherigen Darstellungen der allgemeinen ophthalmologischen Lehrbücher behandelt; es schien mir eine etwas ausführlichere Darstellung geboten, um auch dem Studierenden ein nicht bloß ganz oberflächliches Verständnis des Astigmatismus zu ermöglichen. Da der erste Teil schon vor längerer Zeit gedruckt wurde, konnten die neueren Untersuchungen von Gullstrand über Aberration und Astigmatismus erst im II. Teil soweit Berücksichtigung finden, als es für den Praktiker wichtig erschien.

Der erste Teil kann auch als Einleitung in das Studium der allgemeinen augenärztlichen Lehrbücher, die meist diese optischen Kenntnisse im wesentlichen voraussetzen, dienen. Die Lehre von der Spiegelung schien mir hier entbehrlich, da sie in den meisten Darstellungen der Lehre vom Augenspiegel genügend berücksichtigt wird.

Der zweite Teil behandelt die Funktionsprüfung, d. h. die Prüfung aller der Sehtätigkeit dienenden Leistungen des Sehorgans und ihrer Störungen (einschließlich Simulation) auf Grundlage einer systematischen Gliederung. Es war mein Bestreben, die Gliederung der Funktionsstörungen und die Methodik

der Funktionsprüfung zur Feststellung von Art und Grad der Funktionsstörungen in möglichst logischer, gewissermaßen selbstverständlicher Ordnung aufzubauen, soweit das bei unserer heutigen Kenntnis des Stoffes möglich ist und die Übersicht nicht durch die Reichhaltigkeit der Gliederung gefährdet wurde. Wenn die Gliederung trotzdem etwas ausgiebig wurde, so liegt das an der Fülle und Mannigfaltigkeit des vorliegenden Stoffes, dessen Beherrschung nur durch klare Sichtung möglich wird.

Die Pupillenstörungen dürften in dem vorliegenden Buche überhaupt die erste vollständig durchgeführte Systematisierung erfahren haben, soweit eine solche bis jetzt möglich ist. Bei der noch recht unsicheren Kenntnis mancher Fragen in der Pathologie der Irisbewegungen mußten einige hypothetische Annahmen mit in Kauf genommen werden, die Lücken unseres positiven Wissens habe ich aber nirgends verhüllt.

Im allgemeinen ist dem Bedürfnis der Verständlichkeit entsprechend die Gliederung bestimmter Leistungsstörungen der Besprechung ihrer Prüfung vorausgeschickt; nur beim Gesichtsfeld sind die Prüfungsmethoden vor den Gesichtsfeldstörungen besprochen, da das Verständnis der letzteren mehr von der Kenntnis der Prüfungsmethoden abhängt, als umgekehrt. Bei einigen Funktionsgebieten, bei denen aus der Kenntnis der Leistungsstörungen die erforderlichen Anhaltspunkte für die Prüfung sich im wesentlichen von selbst ergeben, ist den Prüfungsmethoden kein besonderer Abschnitt gewidmet. Daß auch die Sehgedächtnisstörungen aufgenommen sind, bedarf für die Leser des Buches wohl keiner Begründung.

Von der Darstellung der objektiven Refraktionsbestimmung wurde Abstand genommen, da diese in den allgemeinen und ophthalmoskopischen Lehrbüchern im Zusammenhang mit der sonstigen objektiven Untersuchung ihren besten Platz haben. Zudem soll hier gezeigt werden, wieweit der Arzt schon ohne Beherrschung des Augenspiegels und Ophthalmometers die subjektive Funktionsprüfung verwerten kann.

Der dritte Teil giebt eine Anleitung zur Verwertung der Funktionsprüfungen und Funktionsstörungen für die Erkennung von Krankheiten des Sehorgans und des übrigen Körpers, vor allem des Nervensystems, soweit die diagnostische Bedeutung der Störungen des übersichtlichen Zusammenhanges wegen nicht schon im zweiten Teil berücksichtigt ist. Die Anordnung der Funktionsgebiete ist im dritten Teil eine etwas andere als im zweiten, da für die

weitergehenden diagnostischen Schlüsse andere, vor allem pathologisch-anatomische Zusammenhänge in Betracht kommen, so daß manche Funktionsgebiete hier überhaupt keines eigenen Abschnittes bedurften.

Ohne Denkarbeit können die Funktionsprüfungen nicht erlernt werden, wer jene scheut, der möge sich seiner diagnostischen Lücken bewußt bleiben und nicht pfuschen. Zwar schwebte mir der ideale Wunsch vor, selbst dem mathematisch ganz Unbegabten, wenn er nur guten Willen zum Denken hat, das wesentliche Verständnis der Funktionsprüfungen zu ermöglichen, ich hege aber nicht die kühne Hoffnung, mit dem vorliegenden Versuch diese Aufgabe schon befriedigend gelöst zu haben. Sollte dieser Versuch auch nur andere anregen, die Weiterentwickelung unseres diagnostischen Wissens und Könnens zu fördern, so wäre er nicht vergeblich gewesen.

Auch der ausgebildete Augenarzt dürfte in dem Buche manches Neue, und mehr noch manches Alte in neuer Beleuchtung finden.

Leipzig, September 1903.

Otto Schwarz.

Inhalt.

Dritter Teil.

Einleitung.

Das Sehorgan befähigt uns, Farben und Formen, sowie räumliche Verhältnisse der Formen zueinander und zu unserem Körper wahrzunehmen. Seine beiden peripheren Endorgane, die Netzhäute, sind in je einen beweglichen optischen Hilfsapparat, den Augapfel, eingegliedert. Diese optischen Apparate haben die Aufgabe, ein flächenhaftes perspektivisches Bild der Außenwelt auf der zugehörigen Netzhaut zu entwerfen. Die beiden Netzhautbilder sind perspektivisch verschieden voneinander. In jeder Netzhaut wird in dem Sinnesepithel ein Komplex von Nervenerregungen hervorgerufen, die nach Ordnung und Stärke (Intensität) in bestimmter Beziehung zu dem Netzhautbild stehen.

Ein gewisser Teil dieser Erregungen wird durch Nervenfasern einem im Mittelhirn gelegenen Reflexorgan zugeführt, um hier in eine motorische Nervenerregung umgesetzt zu werden, die den Pupillenverengerer in Thätigkeit setzt. Die Regenbogenhaut hat als eine bewegliche Blende die Aufgabe, die ins Auge dringende Lichtmenge nach Bedürfnis zu regulieren. Wahrscheinlich werden im Mittelhirn auch den anderen motorischen Augennerven Erregungen zugeführt, deren Wirkung aber durch Erregungen von der Großhirnrinde her abgeändert wird.

Die Hauptmasse der in den Netzhäuten entstehenden Nervenerregungen wird durch Sehnerven, Sehstränge und Sehstrahlung dem in den beiden Hinterhauptslappen des Gehirns liegenden centralen Endorgan des Sehapparates zugeführt. Hier wird ein mehr oder minder großer Teil der von beiden Netzhäuten kommenden Nervenerregungen zu einer einheitlichen räumlichen Wahrnehmung verarbeitet. Ein anderer Teil des Erregungskomplexes kann im Gehirn Wirkungen ausüben, die uns nicht unmittelbar bewußt werden, aber noch nachträglich zu einer mehr oder minder deutlichen Vorstellung einer gemachten Wahrnehmung führen. Ein dritter Teil endlich bleibt für uns ohne erkennbare Wirkung.

Die Wahrnehmungen treten zunächst in Beziehung zu unserem bisherigen Erfahrungsinhalt — wir erkennen sie als gleich, ähnlich oder unähnlich mit früher gemachten Wahrnehmungen — und üben

die mannigfachsten Wirkungen auf die übrige Gehirnthätigkeit aus. Es können auch verschiedene einzelne Wahrnehmungen, die infolge von Bewegungen der Augen oder des Kopfes nacheinander gemacht werden, sich zu einer umfangreichen Vorstellung kombinieren.

Von allen diesen Leistungen, vom optischen Apparat an bis zur Wirkung der Wahrnehmungen auf andere Gehirnleistungen, verlangen wir ein gewisses Maß von Ausbildung und Vollkommenheit. Es ist Aufgabe des Arztes, etwa vorhandene Störungen oder Mängel dieser Leistungen aufzufinden, ihre Ursachen zu erkennen und die Störungen oder Mängel womöglich samt den Ursachen zu beseitigen oder wenigstens zu verringern. Die Erforschung der Ursachen führt oft zur Erkennung einer Erkrankung anderer Organe oder des ganzen Körpers, von der die Störung im Sehorgan nur eine Teilerscheinung oder eine Folgeerscheinung bildet; oft wird auch eine Störung des Sehorgans als Ursache anderer körperlicher Störungen erkannt. Die Beherrschung der Untersuchung des Sehorgans und der Prüfung seiner Leistungen ist daher für jeden Arzt überaus wichtig.

Wir wollen uns hier mit der Prüfung der Leistungen des Sehorgans befassen und uns dann ein Bild davon machen, wie die Störungen dieser Leistungen zur Erkennung von Krankheiten sowohl des Sehorgans wie des übrigen Körpers zu verwerten sind. Dabei werden auch die durch objektive Untersuchung (Betrachtung und Betastung) nachweisbaren krankhaften Veränderungen des Sehorgans und auch anderer Organe soweit berücksichtigt werden müssen, als sie für die diagnostische Verwertung der Funktionsstörungen in Betracht kommen; die Beschreibung dieser Veränderungen selbst aber liegt außerhalb unserer hier gewählten Aufgabe.

Wir könnten die Leistungen des Sehorgans nach drei Komponenten gliedern, von denen sie abhängen: Leistungen des optischen Apparates, des Empfindungsapparates und des Bewegungsapparates. Diese Leistungen sind aber wieder so vielfach voneinander abhängig, daß es zweckmäßiger ist, bei der Einteilung vor allem praktischen Rücksichten zu folgen.

Wer die zum Verständnis der Leistungen des optischen Apparates nötige Kenntnis der Optik nicht hat, kann sie sich durch das Studium des vorausgeschickten I. Teiles in kurzem aneignen. Auch wer gar keinen Sinn für Mathematik zu haben meint, möge wenigstens mit etwas gutem Willen einen Versuch machen.

Erster Teil.

Grundzüge der Optik des Auges.

1. Optische Grundbegriffe.

Optik bedeutet dem Wortlaut nach die Lehre vom Sehen; gewöhnlich aber versteht man darunter die Lehre von den das Sehen bedingenden äußeren Naturvorgängen, die man als Licht bezeichnet, also die Lehre vom Licht. Soweit dieses ohne Rücksicht auf seine Wirkung aufs Auge Gegenstand der Betrachtung ist, unterscheiden wir es von seiner physiologischen Wirkung, der Lichtempfindung, als „objektives Licht“. Das objektive Licht ist die weitaus häufigste, aber nicht die einzige Ursache der Lichtempfindungen. Solche Lichtempfindungen, die durch andere Ursachen bewirkt werden, nennen wir „subjektive Lichtempfindungen“ (Lichtempfindung bei Druck auf die Netzhaut, bei elektrischer Reizung, Flimmerskotom, Halluzinationen). Das „objektive Licht“ stellen wir uns als eine bestimmte Bewegungsform und zwar als eine bestimmte Art von Schwingungen eines den Weltraum erfüllenden, als Lichtäther bezeichneten, Mittels vor, die sich vom Ort der Erregung kugelförmig ausbreiten. Die Stoffteilchen, die an der Bewegung teilnehmen, werden nicht selbst weiter bewegt, sondern machen nur schwingende Bewegungen, ähnlich wie ein Punkt einer schwingenden Saite, und teilen ihre Bewegung allen Nachbarteilchen mit. Denken wir uns zunächst von irgend einem Punkt aus die ihn unmittelbar umgebenden Ätherteilchen in gleichartige Schwingungen versetzt, so wird sich von da aus nach allen Seiten hin diese Schwingungserregung fortpflanzen, und zwar nach allen Seiten hin mit der gleichen Geschwindigkeit, vorausgesetzt, daß die Schwingungen immer in demselben Mittel erfolgen und dieses Mittel nach allen

Richtungen gleichen Widerstand bietet. Die Gesamtheit der Teilchen, bis zu denen die Erregung nach einer gewissen Zeit sich fortgepflanzt hat, bildet somit eine Kugelfläche. Die Exkursionen der schwingenden Ätherteilchen werden allmählich geringer, indem sich die Schwingungen mit der Vergrößerung der Kugelfläche auf eine immer größere Anzahl von Teilchen verteilen.

Wir können uns vorstellen, daß sich die Schwingungsbewegung vom Erregungszentrum aus zu jedem Punkt der Kugelfläche längs eines Radius fortpflanzt, indem die in einem Radius liegenden Teilchen hintereinander von der Bewegung ergriffen werden. Die Schwingungen der einzelnen Teilchen finden in einer senkrecht zum Radius liegenden Ebene statt, sie können eine geradlinige oder kreisförmige oder elliptische Bahn beschreiben. Die Strecke, um die sich die Bewegung auf einem Radius während der Zeit fortpflanzt, in der das zuerst erregte Teilchen eine ganze Schwingung (bis zum Wiederbeginn einer gleichen Schwingungsbewegung) ausgeführt hat, bezeichnen wir als Wellenlänge, die Zeit einer ganzen Schwingung als Schwingungsdauer. Das Teilchen am Ende dieser Strecke beginnt in demselben Augenblick zu schwingen, in dem das erste Teilchen seine zweite Schwingung beginnt; alle zwischenliegenden Teilchen haben in derselben Zeit einen um so größeren Teil einer Schwingung vollendet, je näher sie dem ersten Teilchen liegen, die Anordnung sämtlicher Teilchen der Strecke bildet eine Welle. Das Stadium der Schwingung, in dem sich jedes Teilchen gerade befindet, nennen wir seine Schwingungsphase. Das Anfangs- und das Endteilchen der Welle haben die gleiche Schwingungsphase. Die Wellenlänge ist das Produkt aus der Schwingungsdauer und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sie ist somit bei Licht von gleicher Schwingungsdauer in durchsichtigen Mitteln verschiedener Art proportional der Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

Bei kugelförmiger Ausbreitung gleichartiger Lichtwellen von einem leuchtenden Punkt aus liegen die Teilchen gleicher Schwingungsphasen in konzentrischen Kugelflächen, die je um eine Wellenlänge voneinander abstehen; die einer und derselben Kugelfläche angehörenden Teilchen sind um gleich viele Wellenlängen vom leuchtenden Punkt entfernt. Eine Fläche, die Ätherteilchen von gleicher Schwingungsphase enthält, bezeichnen wir als Wellenfläche; eine die Wellenflächen senkrecht schneidende Linie, auf der die zu einem Lichtwellenzuge gehörenden Ätherteilchen in ihrer Ruhelage liegen würden, nennen wir Lichtstrahl. Bei kugelig sich ausbreitenden

Lichtwellen sind die Lichtstrahlen also Radien der konzentrischen Kugelflächen.

Die Bewegung der längs eines Strahles gelegenen Ätherteilchen ist streng genommen nicht unabhängig von der Bewegung der Teilchen benachbarter Strahlen; überall, wo Licht an dem Rande undurchsichtiger Körper vorbeigeht, finden Ablenkungen kleiner Teile des Lichtes von dem geraden Weg statt (Diffraktion oder Beugung), solche Störungen haben aber unter den gewöhnlich stattfindenden Bedingungen, mit denen wir es bei unseren Betrachtungen zu thun haben, keinen wesentlichen Einfluß auf die Bewegungen der Teilchen der anderen Strahlen. Für die Physik des Auges können wir daher die Bewegung des Lichtes als geradlinig betrachten.

Von einem leuchtenden Punkt können Lichtwellen sehr verschiedener Art ausgehen, die sich voneinander durch ihre Länge und damit durch ihre Schwingungsdauer unterscheiden. Geht von einem leuchtenden Punkt nur Licht von einerlei Schwingungsdauer (gleicher Wellenlänge) aus, so nennt man das Licht einfach oder einfarbig (oder homogen[1]); bei seiner Wirkung aufs Sehorgan erregt es die Empfindung einer bestimmten Farbe. Lichtwellen von verschiedener Länge unterscheiden sich in ihrer Wirkung aufs Auge durch die Erregung verschiedener Farbenempfindungen. Die Wellenlängen kann man mittels gewisser Erscheinungen (den Erscheinungen bei der Interferenz) messen und daraus die Schwingungsdauer des betreffenden Lichtes berechnen, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen bekannt ist. Diese beträgt für den Weltenraum nach Bestimmung durch astronomische Beobachtungen etwa 300000 km in der Sekunde, die Wellenlängen des Lichtes im leeren Raum betragen 0,00039—0,00069 mm; die Zahl der Schwingungen in der Sekunde berechnet sich danach auf 770—435 Billionen. Die außerhalb dieser Grenzen liegenden Ätherwellen erregen keine Lichtempfindung, wir rechnen sie daher nicht zum Licht.

Das natürliche Licht der leuchtenden Körper ist meistens nicht einfaches Licht, sondern enthält Wellenzüge von allen möglichen Wellenlängen. Man nennt solches Licht gemischtes oder zusammengesetztes Licht. Ein Lichtstrahlen durchlassendes körperliches Mittel nennen wir durchsichtig.

1 Der Ausdruck „homogen“ wird neuerdings auf ebene Wellenflächen mit Schwingungen von einerlei Schwingungsdauer und konstanter Amplitude beschränkt.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist in durchsichtigen Körpern für Licht verschiedener Schwingungsdauer nicht ganz gleich, die physikalischen Vorgänge beim gemischten Licht sind daher verwickelter, als beim einfachen Licht. Wir beschränken unsere Betrachtungen der Einfachheit halber zunächst auf die Vorgänge beim einfachen Licht. Für eine und dieselbe Lichtart ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in verschiedenen durchsichtigen Körpern im allgemeinen verschieden.

2. Die Lehre von der Lichtbrechung (Dioptrik).

A. Der Vorgang der Lichtbrechung; das Brechungsgesetz.

Wir wollen uns jetzt vorstellen, was geschieht, wenn die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtschwingungen auf eine ebene Fläche treffen, die die Grenzfläche gegen ein anderes durchsichtiges Mittel bildet. Ein Teil des Lichtes wird in der Regel zurückgeworfen und bleibt in dem Mittel, in dem es war; mit diesem Teil wollen wir uns hier nicht weiter beschäftigen. Der übrige Teil dringt in das andere Mittel ein. Der Vorgang, der dabei stattfindet, läßt sich am besten durch einen Vergleich anschaulich machen. Denken wir uns einen Teich, von dem ein Teil sumpfig und gegen den nicht sumpfigen, klaren Teil geradlinig abgegrenzt ist. Werfen wir nun einen Stein in den nicht sumpfigen Teil, so breiten sich die Wellen kreisförmig aus, bis sie an den sumpfigen Teil gelangen. Hier wird der Widerstand für ihre Fortpflanzung größer, die Kreise werden daher flacher werden, d. h. sie bilden jetzt Stücke von Kreisen, deren Mittelpunkt weiter von der Grenzlinie entfernt ist, als der wirkliche Ausgangspunkt der Wellenbewegungen. In Fig. 1 sei eine von O ausgehende Welle gerade an die Grenze der beiden Teile gelangt und berühre sie in dem Punkt A. Der Radius OA trifft somit die Grenzlinie senkrecht. Ein anderer Radius OB schneide die Grenzlinie in dem Punkt D in einem gewissen Abstand von A. In der Zeit, in der die Welle längs des Radius OB bis D fortschreitet, ist die Wellenbewegung bei A in der Verlängerung des Radius OA in den sumpfigen Teil eingedrungen, aber wegen des größeren Widerstandes ist sie hier nur um eine Strecke AC vorgerückt, die kürzer ist, als die längs des Radius OD im klaren Wasser in derselben Zeit zurückgelegte

Strecke BD. Der in das sumpfige Wasser eingedrungene Teil CD der Welle ist somit nicht mehr konzentrisch zu dem entsprechenden Kreisstück AB im klaren Wasser, sondern bildet ein Bogenstück eines Kreises, dessen Zentrum auf der Linie CO in größerem Abstand von der Grenzlinie liegt, als das wirkliche Zentrum O, nämlich im Schnittpunkt des Mittellotes der Sehne CD mit der Linie CO (in der Zeichnung nicht ausgeführt); dieser Schnittpunkt, O', ist dann das scheinbare Erregungszentrum für die Wellen im sumpfigen Wasser; seine Lage hängt von dem Verhältnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen im sumpfigen Wasser zu der im klaren Wasser ab. (Streng genommen weichen zwar die Wellen im sumpfigen Wasser von der Kreisform ab, aber für unsere Betrachtung ist diese Abweichung unwesentlich.) Die Radien der Wellenkreise im sumpfigen Wasser haben also alle eine Richtung, als ob sie von dem Punkt O' herkämen.

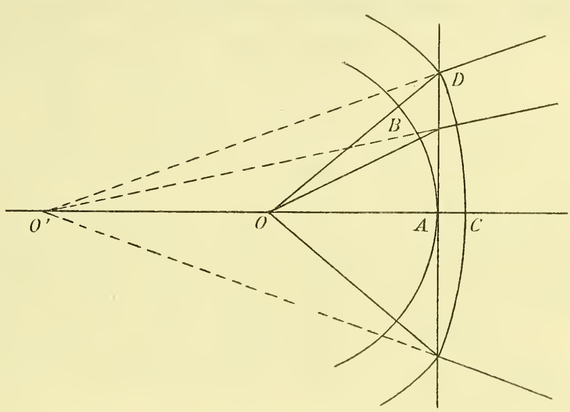


Fig. 1.

Ganz entsprechend verhält sich auch die Ausbreitung von Lichtwellen. Wenn die von einem leuchtenden Punkt O ausgehenden Lichtwellen durch eine ebene Fläche in ein anderes durchsichtiges Mittel von größerem Widerstand eindringen, so breiten sie sich in diesem Mittel so aus, als ob sie von einem entfernteren, auf der Verlängerung des senkrecht einfallenden Lichtstrahles nach rückwärts gelegenen Punkt O' ausgegangen wären; die von O ausgehenden Lichtstrahlen werden also bei ihrem Übergang in das dichtere Mittel von ihrer ursprünglichen Richtung so abgelenkt oder gebrochen, als ob sie von dem Punkt O' herkämen.

Dieser durch Erfahrung gewonnene Satz ist allerdings nur in einem gewissen Umfang richtig, er gilt nur für Strahlen, die mit dem senkrecht auf das zweite Mittel treffenden Strahle kleine Winkel bilden. Dies folgt, wie wir später sehen werden,

aus einer gesetzmäßigen Beziehung zwischen der Richtung der einfallenden Strahlen (d. h. der Strahlen im ersten Mittel) und der der gebrochenen Strahlen, die von dem holländischen Mathematiker SNELLIUS (1626) gefunden und von DESCARTES (1637) in eine einfache Form gebracht wurde. Wir bezeichnen den Winkel, den ein auf die Grenzfläche zweier durchsichtiger Mittel auffallender Strahl mit der im Auffallpunkt auf der Fläche errichteten Senkrechten, dem Einfallslot, bildet, als Einfallswinkel, den vom gebrochenen Strahl mit dem Einfallslot gebildeten Winkel als Brechungswinkel. Das **Gesetz der Lichtbrechung** lautet nun folgendermaßen:

Fällt ein Lichtstrahl auf die Trennungsfläche zweier verschiedener durchsichtiger Mittel, von denen jedes in sich nach allen Richtungen gleichartig („isotrop") ist, so liegt der gebrochene Strahl in der durch den einfallenden Strahl und das Einfallslot bestimmten Ebene, und das Verhältnis vom Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ist für dasselbe Paar von brechenden Mitteln bei allen Strahlen dasselbe.

Bezeichnen wir die Grösse dieses Verhältnisses mit n, den Einfallswinkel mit α_1, den Brechnungswinkel mit α_2, so ist also für alle Lichtstrahlen

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n, \text{ oder } \sin \alpha_1 = n \sin \alpha_2.$$

Die Aufstellung der Wellentheorie des Lichtes durch HUYGHENS (1678) führte dann zu der Erkenntnis, daß das Verhältnis der Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels gleich dem Verhältnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in den beiden durchsichtigen Mitten ist. Ist c_1 die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im ersten, c_2 die im zweiten Mittel, und α_1 der Einfallswinkel eines einfallenden, α_2 der Brechungswinkel des zugehörigen gebrochenen Lichtstrahles, so nennen wir das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit im ersten zu der im 2. Mittel $c_1/c_2 = \sin \alpha_1/\sin \alpha_2$ das Brechungsverhältnis des zweiten Mittels zum ersten Mittel. Umgekehrt ist für den Übergang der Lichtstrahlen aus dem zweiten Mittel in das erste das Verhältnis $c_2/c_1 = \sin \alpha_2/\sin \alpha_1 = 1/n$ das Brechungsverhältnis des ersten Mittels zum zweiten Mittel.

Wir können das Brechungsverhältnis zwischen zwei Mitteln angeben, sobald wir das Brechungsverhältnis jedes dieser Mittel zu irgend einem dritten Mittel kennen. Die Physiker haben uns be-

reits die Vorarbeit geleistet, für jedes wichtige optische Mittel sein Brechungsverhältnis zum leeren, d. h. nur mit Lichtaether erfüllten Raume zu bestimmen. Bedeutet c die Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume, c_1 die in einem Mittel I, so nennen wir das Brechungsverhältnis des Mittels I zum leeren Raum, also c/c_1, den Brechungsexponenten oder Brechungsindex oder die Brechungszahl des Mittels I und bezeichnen es mit n_1. Ist $n_2 = c/c_2$ der Brechungsexponent eines Mittels II, so können wir auch das Verhältnis n_2/n_1, d. h. das Brechungsverhältnis des Mittels II zum Mittel I, sofort bestimmen:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{c : c_2}{c : c_1} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2},$$

worin α_1 den Einfallswinkel, α_2 den Brechungswinkel für irgend einen aus dem Mittel I durch eine Trennungsfläche in das Mittel II eindringenden Strahl bedeutet.

Der Brechungsindex eines Mittels ist umso grösser, je grösser dessen optische Dichtigkeit, d. h. der Widerstand für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes ist. (Der Brechungsindex ist proportional der Wurzel aus dem optischen Widerstand.)

Mit Hilfe des Brechungsgesetzes können wir nun für einen Lichtstrahl, der durch irgend eine Fläche in ein anderes Mittel eindringt, die Richtung des zugehörigen gebrochenen Strahles finden, wenn uns das Brechungsverhältnis des zweiten Mittels zum ersten, sowie die Form der Trennungsfläche bekannt ist, und uns damit zugleich die Bedeutung des Brechungsgesetzes klar machen.

MN sei (Fig. 2) der Durchschnitt einer ebenen Trennungsfläche zweier Mittel I und II mit den Brechungszahlen $n_1 = 1$ und $n_2 = 1{,}5$. Als Brechungsverhältnis n des Mittels II zum Mittel I haben wir dann $n = n_2/n_1 = 1{,}5/1 = {}^3/_2$. *AB* sei ein einfallender Lichtstrahl im Mittel I, dann ist die auf der ebenen Fläche errichtete Senkrechte *BC* das Einfallslot, Winkel $ABC = \alpha_1$ der Einfallswinkel. Es soll also der Brechungswinkel α_2 eine solche Größe haben, daß $n = \sin \alpha_1 : \sin \alpha_2 = 3 : 2$, also $\sin \alpha_2 = {}^2/_3 \sin \alpha_1$. Wir beschreiben mit dem Radius $r = 1$ einen Kreis um *B*, der den einfallenden Strahl in *D* scheidet; die von *D* nach dem Einfallslot gezogene Senkrechte *DE* ist dann $= r \sin \alpha_1 = \sin \alpha_1$. Verlängert man die Strecke *DE* über *E* um $^2/_3$ ihrer Länge bis *F* (indem man auf der Linie *DB* drei gleiche Strecken *DR*, *RS*, *ST* abträgt, $RU \parallel TE$ zieht und $EF = UE$ macht), und zieht durch *F* eine Parallele zum

Einfallslot, die den Kreis im zweiten Mittel in G schneidet, so ist BG der gebrochene Strahl, der mit dem Einfallslot den verlangten Winkel α_2 einschließt.

Beweis: Zieht man die Senkrechte GH zum Einfallslot, dann ist:

$$\sin\alpha_2 = HG:r = HG = EF = \tfrac{2}{3}\,DE = \tfrac{2}{3}\sin\alpha_1.$$

Das Verhältnis $DE:GH = \sin\alpha_1 : \sin\alpha_2 = 3:2$ stellt also das Brechungsverhältnis des zweiten Mittels zum ersten Mittel oder das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit im ersten Mittel zu der im zweiten Mittel dar.

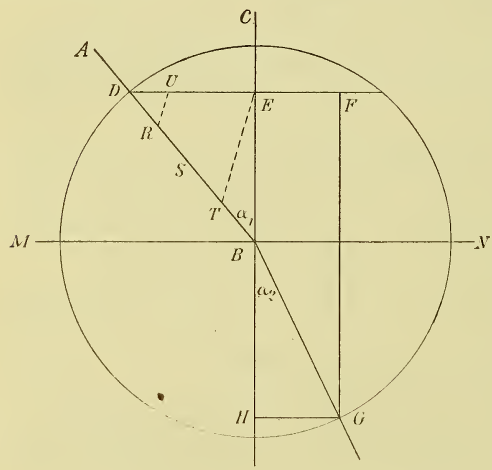


Fig. 2.

Für einen Lichtstrahl, der selbst Einfallslot ist, wird α_1 und damit $\sin\alpha_1$ gleich Null, ebenso $\sin\alpha_2$ (wie aus der Gleichung $\sin\alpha_1 = n\sin\alpha_2$ folgt), d. h. ein senkrecht auf eine Trennungsfläche fallender Strahl geht ungebrochen in das andere Mittel über.

Ganz in derselben Weise können wir für einen aus dem Mittel II kommenden Strahl den gebrochenen Strahl im Mittel I finden. Für den Strahl GB als einfallenden Strahl ist α_2 der Einfallswinkel; $\sin\alpha_2/\sin\alpha_1 = n_1/n_2 = {}^2/_3$ ist das Brechungsverhältnis des Mittels I zum Mittel II; gesucht ist der Strahl, dessen Brechungswinkel $= \alpha_1$, es soll also $\sin\alpha_1 = {}^3/_2\sin\alpha_2$ werden. Wir finden dann unter Anwendung der gleichen Konstruktion als gebrochenen Strahl den Strahl BD.

Wir sehen somit, daß der einfallende und der gebrochene Teil eines Lichtstrahles einander so zugeordnet (konjugiert) sind, daß ihr Verhältnis auch umgedreht, d. h. der ursprünglich gebrochene Teil als einfallender und der ursprünglich einfallende als gebrochener Teil betrachtet werden kann. Ferner sehen wir, daß für einen Strahl, der aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Mittel übergeht, der Brechungswinkel kleiner

ist als der Einfallswinkel, d. h. daß der Strahl nach dem Einfallslote hin gebrochen wird, und daß umgekehrt ein Lichtstrahl beim Übergang aus einem dichteren in ein dünneres Mittel vom Einfallslot weg gebrochen wird.

Aus dem dünneren Mittel können alle Strahlen, die die Grenzfläche treffen, in das dichtere Mittel eindringen; sie erleiden nur durch teilweise Zurückwerfung einen gewissen Intensitätsverlust, der umso größer ist, je größer der Einfallswinkel, aber selbst bei einem Einfallswinkel von 90^0, also bei einem unmittelbar an der Fläche hinstreifenden Strahl, dringt immer noch ein Teil in das dichtere Mittel ein. Da $\sin 90^0 = 1$, so erhalten wir in diesem Fall

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin 90^0 = \frac{n_1}{n_2}$$

in unsrem Beispiel also wird $\sin \alpha_2 = {}^2/_3$, das entspricht einem Winkel von 42^0; für einen tangential in der Fläche einfallenden Lichtstrahl wird somit der Brechungswinkel $= 42^0$. Den Brechungswinkel des im dünneren Mittel tangential einfallenden Strahles nennt man den Grenzbrechungswinkel.

Umgekehrt ist für einen Strahl im dichteren Mittel, dessen Einfallswinkel gleich dem Grenzbrechungswinkel ist, der Brechungswinkel $= 90^0$, d. h. der Strahl muss nach seinem Übergang in das dünnere Mittel eben an der Fläche hinstreifen. Für einen Strahl im dichteren Mittel, dessen Einfallswinkel grösser ist als der Grenzbrechungswinkel, müßte der Brechungswinkel größer als 90^0 werden, was nicht möglich ist; ein solcher Strahl kann überhaupt nicht mehr in das dünnere Mittel übergehen, er wird an der Trennungsfläche vollständig zurückgeworfen. Der Grenzbrechungswinkel ist somit zugleich der größte Einfallswinkel, bei dem ein Lichtstrahl aus dem dichteren Mittel noch in das dünnere übergehen kann, er bildet die Grenze zwischen den in das dünnere Mittel übergehenden und den total reflektirten Strahlen, und heißt daher auch der Winkel der Totalreflexion.

Die Brechung eines von einem Punkt ausgehenden Strahlenbündels an einer ebenen Fläche werden wir erst später erörtern; da wir ein ebenes Flächenstück als Teil einer unendlich großen Kugelfläche betrachten können, läßt sich die Lichtbrechung an einer ebenen Fläche als spezieller Fall der Lichtbrechung an einer Kugelfläche behandeln.

B. Homozentrische Lichtbrechung.

a) Lichtbrechung an einer Kugelfläche.

Das Verständnis der Lichtbrechung an einer Kugelfläche bildet die Grundlage für das Verständnis der optischen Leistungen des Auges und der Wirkung der Brillengläser.

Für einen Lichtstrahl, der von einem Mittel I mit dem Brechungsindex n_1 in ein Mittel II mit Brechungsindex n_2 durch eine Kugelfläche eindringt, können wir die Richtung des gebrochenen Strahles ganz ebenso finden, wie bei einer ebenen Trennungsfläche. Wir bezeichnen zwei durch eine Kugelfläche getrennte verschiedene isotrope Mittel als einfaches brechendes System.

1. Hauptfall: Die Konvexität der Kugelfläche sei dem optisch dünneren Mittel zugekehrt: **Einfaches lichtsammelndes System.**

In Fig. 3 sei das von *O* aus beschriebene Kreisstück der Durchschnitt einer kugeligen, kreisförmig begrenzten Trennungsfläche; *O* ist

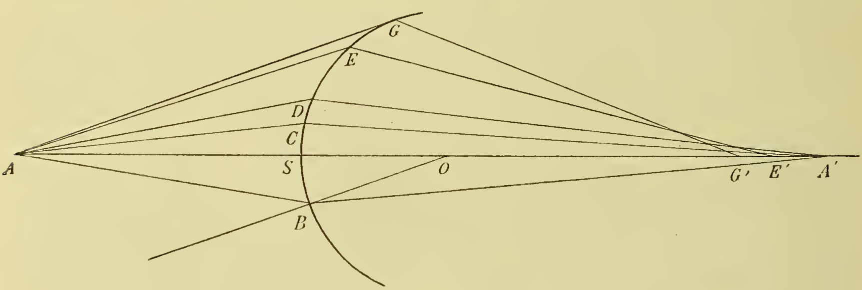


Fig. 3.

also Krümmungsmittelpunkt der Trennungsfläche. Die Konvexität der Kugelfläche sei dem optisch dünneren Mittel I zugekehrt. Der Scheitel dieser Fläche, d. h. der Mittelpunkt der Trennungsfläche selbst, sei *S*. Der Halbmesser *OS* ist dann die optische Achse oder Hauptachse der brechenden Fläche. Jede durch die optische Achse gelegte Ebene bezeichnen wir als Meridianebene, sie schneidet die Trennungsfläche in einem Meridian.

Von einem auf der optischen Achse gelegenen Punkt *A* im ersten Mittel treffe ein Lichtstrahl die Kugelfläche in *B*, dann ist der Halbmesser *OB* das Einfallslot und wir können in der oben angegebenen Weise die Richtung des gebrochenen Strahles finden. Dieser wird, da nach unserer Voraussetzung $n_2 > n_1$, dem Einfalls-

lot zu gebrochen; er kann nun entweder sich der optischen Achse nähern, also konvergent zu ihr sein und sie in einem bestimmten Punkt im zweiten Mittel schneiden, oder er kann zu ihr parallel sein, oder endlich sich noch mehr von ihr entfernen, also divergent zu ihr bleiben. Welche dieser Möglichkeiten eintrifft, hängt von dem Brechungsverhältnis beider Mittel, dem Halbmesser der Kugelfläche und dem Abstand des leuchtenden Punktes von der Kugelfläche ab. Darauf kommen wir später zurück. Nehmen wir an, der gebrochene Strahl sei konvergent gegen die optische Achse und schneide sie in einem Punkt A'. Bestimmen wir nun für alle anderen von A auf die Kugelfläche treffenden Strahlen die gebrochenen Strahlen, so finden wir, daß auch sie alle konvergent zur optischen Achse sind, und daß alle von A ausfahrenden Strahlen, die mit der optischen Achse nur kleine Winkel einschließen, also die Kugelfläche nahe am Scheitel treffen, die optische Achse in demselben Punkt A' schneiden. In je größerem Abstand vom Scheitel die Strahlen die Kugelfläche treffen, umso mehr weichen sie nach der Brechung von dem Schnittpunkt A' ab, indem sie die optische Achse in etwas geringerem Abstand vom Kugelmittelpunkt O schneiden (s. Fig. 3, AEE' und AGG'). Diese bei der Brechung an einer Kugelfläche stattfindende Abweichung der peripheren Strahlen eines homozentrischen, d. h. von einem Zentrum ausgehenden Strahlenbündels von dem gemeinsamen Schnittpunkt der zentralen Strahlen bezeichnet man als sphärische Abweichung oder Aberration (s. S. 51). Wenn die brechende Fläche einen verhältnismäßig kleinen Ausschnitt einer ganzen Kugelfläche bildet, so daß alle von einem Achsenpunkte auf die Kugelfläche fallenden Strahlen diese nahezu senkrecht treffen, kommt die sphärische Aberration nicht in Betracht; ein von einem Achsenpunkte ausgehendes Strahlenbündel bleibt also nach der Brechung an einer solchen Fläche homozentrisch, d. h. alle Strahlen dieses Strahlenbündels sind nach ihrer Brechung wieder nach einem Punkte gerichtet oder scheinen von einem Punkte herzukommen. Wir bezeichnen solche Kugelflächen als brechende Kugelflächen von kleinem Öffnungswinkel oder kleiner Öffnung (Öffnungswinkel heißt der Winkel, den zwei nach dem Rande der Kugelfläche gezogene, einander gerade gegenüber liegende Kugelhalbmesser mit einander bilden). Bei den meisten Fällen, mit denen wir zu thun haben, können wir voraussetzen, daß es sich um Kugelflächen kleiner Öffnung handelt. An solchen Kugelflächen werden auch

Strahlenbündel, die von Punkten nahe der optischen Achse, sog. achsennahen Punkten, ausgehen, homozentrisch gebrochen.

Wir nennen den neuen Vereinigungspunkt, das neue Zentrum eines homozentrisch gebrochenen Strahlenbündels, das **optische Bild** oder kurz das Bild oder den Bildpunkt des ersten Ausstrahlungszentrums, des Objektpunktes. Vorläufig gebrauchen wir den Ausdruck „Bild“ nur in diesem Sinne (vgl. unten S. 33). Kommen die Strahlen wirklich zur Vereinigung, so sprechen wir von einem wirklichen oder reellen Bild; vereinigen sie sich nicht in Wirklichkeit, sondern nur in ihrer gedachten Verlängerung nach vor- oder rückwärts, so sprechen wir von einem scheinbaren oder virtuellen Bild. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn die von einem Punkt ausgehenden Strahlen nach ihrer Brechung noch divergent bleiben, so daß sie nur in ihrer Verlängerung nach rückwärts sich in einem Punkt schneiden, der weiter von der brechenden Fläche abliegt, als der leuchtende Punkt. Die Strahlen verhalten sich dann ganz entsprechend, wie die Radien der Wellenkreise bei unserm Beispiel vom Teich mit dem klaren und sumpfigen Wasser (Fig. 1 S. 7), das scheinbare Erregungszentrum *O'* ist das virtuelle Bild des wirklichen Erregungszentrums *O*. Ebenso wird das Bild virtuell, wenn die Strahlen vor ihrer möglichen Vereinigung auf eine andere brechende Fläche treffen, also sich nur in ihrer gedachten Verlängerung nach vorwärts schneiden. (Diese Fälle werden später noch besprochen.) Jede Trennungsfläche zweier optischen Mittel, an der ein homozentrisches Strahlenbündel homozentrisch gebrochen wird, entwirft also entweder ein wirkliches (reelles) oder ein scheinbares (virtuelles) Bild des Punktes, vom dem das Strahlenbündel herkommt.

Denken wir uns den Bildpunkt selbst leuchtend, so würden die von ihm auf die brechende Fläche fallenden Strahlen sich wieder im ursprünglichen Objektpunkt vereinigen, denn sie fallen der Lage nach ganz mit den vom ursprünglichen Objektpunkt kommenden Strahlen zusammen und sind diesen nur entgegengesetzt gerichtet. Objektpunkt und Bildpunkt bezeichnen wir als zugeordnete oder konjugierte Punkte, oder als konjugiertes Punktepaar.

Der Ort eines Bildpunktes ist bestimmt, sobald die Richtung zweier gebrochener Strahlen bestimmt ist, da ihr Schnittpunkt der Bildpunkt ist. Für einen Strahl können wir seine Richtung nach dem Durchgang durch die Kugelfläche unmittelbar angeben, nämlich für den Strahl, der nach dem Kugelmittelpunkt gerichtet ist,

also mit einem Einfallslot zusammenfällt und somit ungebrochen durch die Fläche geht; in der Richtung dieses ungebrochenen Strahles muss daher das Bild liegen, er heißt deshalb **Richtungsstrahl.** Für einen zweiten Strahl müssen wir den gebrochenen Strahl durch Konstruktion finden.

Den Krümmungsmittelpunkt der brechenden Fläche nennen wir als **Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen** auch **optischen Mittelpunkt** oder **Knotenpunkt** des einfachen brechenden Systemes.

Achsennahe Punkte (s. S. 14) können wir jetzt genauer als Punkte bezeichnen, deren Richtungsstrahl nur einen kleinen Winkel mit der optischen Achse bildet.

Ist das Bild für einen Punkt bestimmt, so können wir mit Hilfe dieses Punktepaares leicht auch das Bild eines beliebigen anderen Punktes bestimmen, der nicht auf dem Richtungsstrahl jenes Punktes liegt.

B sei (Fig. 4) ein achsennaher Punkt im ersten Mittel. Das zum Achsenpunkt *A* gehörige Bild *A'* sei bekannt. Das Bild von *B* liegt

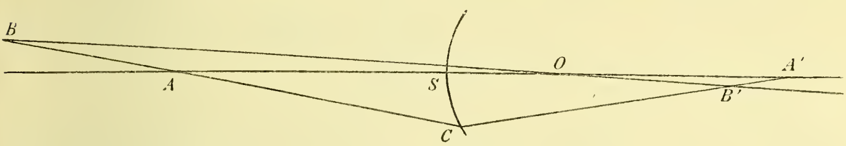


Fig. 4.

auf dem Richtungsstrahl *BO*; als zweiten Strahl wählen wir den den Punkten *B* und *A* gemeinsamen Strahl *BA*, der nach der Brechung durch *A'* gehen muß; er treffe die Kugelfläche in *C*, dann ist der Punkt *B'*, in dem sich *CA'* und *BO* schneiden, das Bild von *B*.

Unser Punktepaar *AA'* ist zur Bildkonstruktion für andere Punkte nur dann verwendbar, wenn deren mit *A* gemeinsamer Strahl überhaupt die brechende Fläche trifft. Es giebt aber ein Punktepaar, daß sich für alle achsennahen Punkte dieses einen Mittels zur Bildkonstruktion eignet, das ist der unendlich ferne Punkt der optischen Achse und sein Bildpunkt. Das Bild des im ersten Mittel unendlich fernen Achsenpunktes, d. h. also der Vereinigungspunkt der parallel der optischen Achse einfallenden Strahlen, heißt **Hauptbrennpunkt**, und zwar, als Vereinigungspunkt der in das zweite Mittel übergegangenen Strahlen, der hintere oder zweite Hauptbrennpunkt. In unserem Fall liegt er im 2. Mittel. Jeder der optischen Achse im 1. Mittel parallele Strahl geht also im 2. Mittel durch den 2. Hauptbrennpunkt.

Da umgekehrt der unendlich ferne Punkt der Achse im 1. Mittel das Bild des 2. Hauptbrennpunktes ist, gehen alle Strahlen, die vom 2. Hauptbrennpunkt auf die brechende Fläche fallen, im 1. Mittel parallel der optischen Achse weiter.

Ebenso giebt es einen Achsenpunkt im 1. Mittel, dessen Strahlen nach der Brechung der Hauptachse parallel werden, dieser Punkt ist der 1. Hauptbrennpunkt. Sein Bild ist also der unendlich ferne Achsenpunkt im 2. Mittel, und er ist umgekehrt auch das Bild dieses Punktes; auch dieses Punktepaar ist bequem zur Bildkonstruktion, besonders für Punkte des 2. Mittels.

Der Abstand der beiden Hauptbrennpunkte vom Scheitel der brechenden Fläche heißt erste und zweite Hauptbrennweite. Die 1. Hauptbrennweite verhält sich zum Halbmesser der brechenden Fläche wie die Brechungszahl des 1. Mittels zur Differenz der Brechungszahlen beider Mittel; wir können dies durch die Gleichung ausdrücken:

$$\frac{f_1}{r} = \frac{n_1}{n_2 - n_1}, \quad \text{somit}$$

1) $$f_1 = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1},$$

worin f_1 die 1. Hauptbrennweite, r den Halbmesser der brechenden Fläche, n_1 und n_2 die Brechungszahlen des 1. und 2. Mittels bedeuten.

Ebenso verhält sich die 2. Hauptbrennweite f_2 zum Halbmesser wie die Brechungszahl des 2. Mittels zur Differenz beider Brechungszahlen:

$$\frac{f_2}{r} = \frac{n_2}{n_2 - n_1}, \quad \text{somit}$$

2) $$f_2 = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1}$$

Dividiert man 1) durch 2), so folgt:

3) $$\frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

d. h. die beiden Hauptbrennweiten verhalten sich zu einander wie die beiden Brechungszahlen.

Subtrahirt man 1) von 2), so folgt:

$$f_2 - f_1 = \frac{n_2 r - n_1 r}{n_2 - n_1} = \frac{(n_2 - n_1) r}{n_2 - n_1}$$

4) $$f_2 - f_1 = r,$$

d. h. der Unterschied der 2. Brennweite von der 1. ist gleich dem Halbmesser der brechenden Fläche.

Ableitung der Gleichungen für die Hauptbrennweiten.

1. Der Strahl BC sei parallel der optischen Achse ASO (s. Fig. 5); wir konstruieren den gebrochenen Strahl CF_2 nach dem Verhältnis

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ (s. S. 9)},$$

dann ist F_2 der 2. Hauptbrennpunkt.

Das Einfallslot OC bildet mit dem Strahl BC den Winkel α_1, mit dem Strahl CF_2 den Winkel α_2; $\sphericalangle COS$ ist auch $= \alpha_1$, ferner ist als Außenwinkel des Dreiecks COF_2:

$$\sphericalangle COS = \sphericalangle \alpha_2 + \sphericalangle CF_2O,$$

somit

$$\sphericalangle CF_2O = \alpha_1 - \alpha_2;$$

nun ist

$$\frac{CF_2}{CO} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}$$

(zwei Seiten eines Dreiecks verhalten sich zueinander wie die Sinus der gegenüberliegenden Winkel; der Sinus eines Winkels ist gleich dem Sinus seines Nebenwinkels).

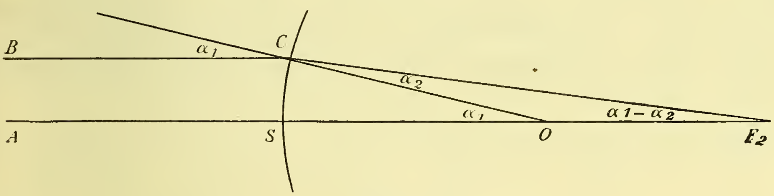


Fig. 5.

Bei unserer Voraussetzung einer brechenden Kugelfläche von kleiner Öffnung können wir für den Sinus eines Winkels den Winkel selbst setzen, also

$$\frac{CF_2}{CO} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2};$$

setzen wir $CO = r$ und $CF_2 = SF_2 = f_2$, was bei unserer Voraussetzung auch ohne merklichen Fehler geschehen kann, so ist

$$\frac{f_2}{r} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}.$$

Da ferner

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

so ist auch

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2} = \frac{n_2}{n_2 - n_1},$$

damit folgt:

$$\frac{f_2}{r} = \frac{n_2}{n_2 - n_1} \quad \text{oder} \quad f_2 = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1}.$$

2. Der Strahl $B'C$ im 2. Mittel (Fig. 6) sei parallel der Achse OS, die er nach seiner Brechung schneide in F_1, dann ist F_1 der 1. Hauptbrennpunkt. Das Einfallslot OC bildet mit $B'C$ den Winkel α_2 (für den Strahl $B'CF_1$ ist er

Einfallswinkel), mit CF_1 den Winkel α_1; $\sphericalangle COF_1$ ist ebenfalls $= \sphericalangle \alpha_2$, $\sphericalangle CF_1O = \alpha_1 - \alpha_2$,

$$\frac{CF_1}{CO} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} = \frac{n_1}{n_2 - n_1},$$

$CO = r$, CF_1 ohne merklichen Fehler $= SF_1 = f_1$, somit

$$\frac{f_1}{r} = \frac{n_1}{n_2 - n_1}, \quad f_1 = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1}.$$

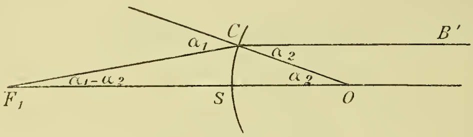


Fig. 6.

Für die Konstruktion des Bildes eines beliebigen Punktes B haben wir jetzt zwei sehr bequeme Methoden (Fig. 7). Punkt B liege von der Fläche weiter ab, als der 1. Brennpunkt. Wir wählen als den einen Strahl den Strahl BC parallel der optischen Achse, er geht nach der Brechung durch F_2; als zweiten Strahl wählen

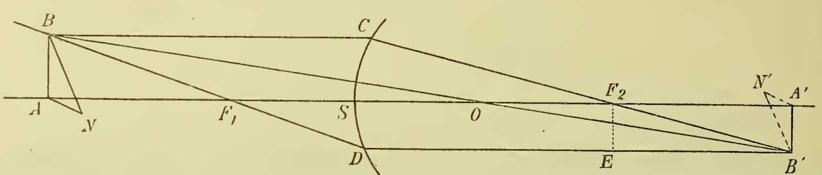


Fig. 7.

wir entweder den ungebrochen durchgehenden Richtungsstrahl BO, oder den Strahl BF_1D, der nach der Brechung parallel der Achse geht; der betreffende Schnittpunkt B' ist das Bild von B.

Die Abhängigkeit des Bildabstandes vom Objektabstand (von der brechenden Fläche gemessen) läßt sich aus Fig. 7 ableiten.

Wir können bei unseren Voraussetzungen CSD als senkrecht zur Hauptachse stehende gerade Linie ansehen. Ziehen wir $F_2E \parallel CD$, so ist:

$$\frac{BC}{F_1S} = \frac{CD}{SD} = \frac{CD}{F_2E} = \frac{DB'}{EB'} = \frac{DB'}{DB' - SF_2};$$

setzen wir den Objektabstand $BC = a$, $F_1S = f_1$, den Bildabstand $DB' = b$, $SF_2 = f_2$, so erhalten wir:

$$\frac{a}{f_1} = \frac{b}{b - f_2}, \text{ oder:}$$

$$\frac{f_1}{a} = \frac{b - f_2}{b} = 1 - \frac{f_2}{b}, \text{ oder:}$$

$$\frac{f_1}{a} + \frac{f_2}{b} = 1, \tag{5}$$

daraus folgt:

$$b f_1 + a f_2 = a b,$$

$$b(f_1 - a) = -a f_2,$$

$$b = \frac{a f_2}{a - f_1}, \tag{6}$$

und ganz entsprechend:

$$a = \frac{b f_1}{b - f_2}. \tag{7}$$

Für Punkte gleichen Abstandes von der brechenden Fläche liegen auch die Bilder in gleichem Abstand. Fällen wir von B und seinem Bildpunkt B' die Senkrechten BA und $B'A'$ auf die optische Achse, so ist A' das Bild von A, die Bilder sämtlicher Punkte der Strecke BA liegen auf der Strecke $B'A'$, die Strecke $B'A'$ ist somit das Bild der Strecke BA, und zwar ist sie in unserem Fall ein umgekehrtes Bild dieser Strecke. Der Größe nach verhalten sich Bild und Objekt wie ihre Abstände vom Knotenpunkt O, denn da $\triangle BAO \sim \triangle B'A'O'$, so ist

$$\frac{BA}{B'A'} = \frac{AO}{A'O'}.$$

Daraus folgt, daß das Bild einer Figur, die in einer zur optischen Achse senkrechten Ebene liegt, der Figur geometrisch ähnlich ist.

Man denke sich in Fig. 7 die Strecke AN senkrecht zur optischen Achse in einer anderen Meridianebene, beispielsweise senkrecht zur Ebene der Zeichnung; das Bild $A'N'$ liegt dann in derselben Meridianebene parallel zu AN, aber entgegengesetzt gerichtet; da nun auch $AN : A'N' = AO : A'O'$, so ist

$$\frac{AN}{A'N'} = \frac{BA}{B'A'}, \text{ oder } \frac{AN}{AB} = \frac{A'N'}{A'B'};$$

ferner ist $\sphericalangle BAN = \sphericalangle B'A'N'$ (als Winkel, den die beiden Meridianebenen miteinander einschließen), somit $\triangle BAN \sim \triangle B'A'N'$. Da man sich jede ebene Figur aus Dreiecken zusammengesetzt denken kann, gilt der Satz allgemein.

Das Bild eines nicht auf der optischen Achse gelegenen unendlich fernen Punktes muss in gleichem Abstand von der brechenden Fläche liegen, wie der 2. Hauptbrennpunkt, also in der durch F_2 senkrecht zur optischen Achse gelegten Ebene; diese bezeichnen wir als 2. Hauptbrennebene. Das Bild irgend eines unendlich fernen Punktes liegt somit im Schnittpunkt seines

Richtungsstrahles mit der 2. Hauptbrennebene. Das ermöglicht uns, auch zu einem beliebigen Punkt der optischen Achse sehr bequem das Bild zu finden (s. Fig. 8).

Punkt A auf der optischen Achse liege weiter von der brechenden Fläche ab als F_1. Wir ziehen einen beliebigen Strahl AB nach der Kugelfläche, und zu diesem parallel einen Strahl MO, der die 2. Brennebene in C schneidet. Da wir AB und MO als Strahlen des in der Richtung OM gelegenen unendlich fernen Punktes ansehen können, muß der Strahl AB nach seiner Brechung durch den Punkt C gehen, der Punkt A', in dem der Strahl BC die optische Achse schneidet, ist dann das Bild von A.

Ebenso dient die durch F_1 senkrecht zur Achse gelegte erste Hauptbrennebene zur Konstruktion der Bilder von Achsenpunkten des zweiten Mittels.

Die von einem Punkt der 1. Brennebene ausgehenden Strahlen sind nach der Brechung alle parallel zum betreffenden Richtungs-

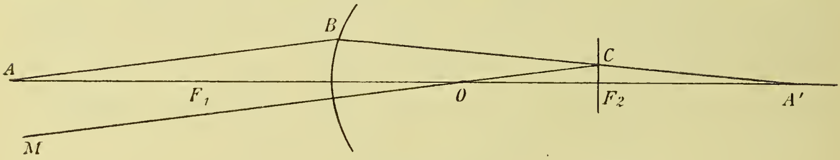


Fig. 8.

strahl, ihr Bild liegt also in unendlich großem Abstand hinter der brechenden Fläche. Das Bild einer in der ersten Hauptbrennebene liegenden Strecke liegt also unendlich weit hinter der brechenden Fläche und ist unendlich groß.

Wir können nun nach den bisherigen Betrachtungen uns leicht eine allgemeine Übersicht davon machen, wie sich für ein seinen Abstand von der brechenden Fläche stetig änderndes Objekt von bestimmter Größe die Lage und die Größe des Bildes verhält bei einem brechenden System, wo die zwei Mittel durch eine dem dünneren Mittel zugekehrte Kugelfläche getrennt sind. Fig. 1 auf Taf. I veranschaulicht diese Verhältnisse für den Fall, daß die Strahlen aus dem dünneren in das dichtere Mittel übergehen, wie z. B. aus der Luft in ein linsenloses, staroperiertes Auge. O sei der Krümmungsmittelpunkt, S der Scheitel, F_1 der vordere, F_2 der hintere Brennpunkt. Wir wollen uns vorstellen, daß ein Objekt von bestimmter Größe aus unendlicher Entfernung sich der brechenden Fläche immer mehr nähert.

Wir denken uns als Gegenstand eine senkrecht zur optischen Achse gelegene Strecke AB, deren einer Punkt A auf der optischen Achse gelegen sei, und benützen als Konstruktionsstrahlen für das Bild von B immer den Richtungsstrahl und den von B parallel zur optischen Achse gehenden Strahl, das Bild von AB ist dann immer die vom Bildpunkt B' auf die Achse gefällte Senkrechte $B'A'$. Liegt AB in unendlich großem Abstand, dann fällt der Richtungsstrahl von B mit der optischen Achse zusammen; der der Achse parallele Strahl trifft die brechende Fläche in C und geht nach der Brechung durch F_2, also ist F_2 das Bild von B. Das Bild der unendlich fernen Strecke AB ist somit unendlich klein und liegt im 2. Hauptbrennpunkt.

Lassen wir BA näher rücken, so bleibt der zur Achse parallele Strahl unverändert, das Bild von B liegt also immer auf dem gebrochenen Strahl CF_2. Ist BA in endlichem, aber immer noch großem Abstand, etwa in der Lage $B_1 A_1$, so bekommen wir ein umgekehrtes und verkleinertes Bild $B_1' A_1'$ nahe hinter F_2.

Rückt BA noch näher, so wächst der Abstand und die Größe des Bildes; ist der Objektabstand gleich der doppelten Brennweite, wie in $B_2 A_2$, so ist der Bildabstand doppelt so groß, wie die 2. Hauptbrennweite, das Bild ist umgekehrt und gleich groß wie der Gegenstand.

(Wenn der Objektabstand $a = 2 f_1$, so können wir für die Gleichung $b = a f_2 / a - f_1$ auch schreiben: $b = 2 f_1 f_2 / 2 f_1 - f_1$, also Bildabstand $b = 2 f_2$; ferner:

$$\frac{A_2' B_2'}{A_2 B_2} = \frac{a + r}{b - r} = \frac{2 f_1 + r}{2 f_2 - r};$$

da $f_2 = f_1 + r$ (s. S. 16, Gleichung 4), so ist

$$\frac{A_2' B_2'}{A_2 B_2} = \frac{2 f_1 + r}{2 (f_1 + r) - r} = 1,$$

d. h. $A_2' B_2' = A_2 B_2$.)

Kommt jetzt der Gegenstand immer näher herein, so rückt der Schnittpunkt beider Strahlen immer weiter ab, das Bild wird immer größer.

Rückt B in die erste Hauptbrennebene, so wird der Richtungsstrahl von B dem Strahl CF_2 parallel; er schneidet ihn in unendlicher Entfernung, das Bild von B liegt also unendlich fern in der Richtung CF_2. Das Bild von AB ist jetzt unendlich fern hinter der brechenden Fläche und unendlich groß. Lassen wir den Gegenstand noch näher heranrücken, innerhalb der

1. Hauptbrennweite, z. B. in die Stellung $B_3 A_3$, dann schneidet der Richtungsstrahl den andern nicht mehr auf der Seite des 2. Mittels, sondern in der Verlängerung nach rückwärts auf derselben Seite der Achse, wir erhalten in „negativem Bildabstand" ein virtuelles, aufrechtes, vergrößertes Bild $B_3' A'_3$, das umso weiter von der Kugelfläche entfernt und umso größer ist, je näher das Objekt der 1. Hauptbrennebene liegt. Je näher das Objekt an die Kugelfläche rückt, umso näher rückt ihr auch das virtuelle Bild, und seine Größe nähert sich immer mehr der Größe des Objektes, bis der Gegenstand in die brechende Fläche gelangt und damit der Schnittpunkt der von B ausgehenden Strahlen selbst in die brechende Fläche fällt. An der brechenden Fläche sind also Bild und Gegenstand gleich groß und gleich gerichtet, sie fallen hier zusammen.

Wir können nun das Objekt AB seine Wanderung auch noch jenseits der brechenden Fläche als gedachtes (virtuelles) Objekt fortsetzen lassen; wir sprechen dann auch von „negativem Objektabstand". Das Objekt befinde sich in der Lage $B_4 A_4$ zwischen der brechenden Fläche und dem Knotenpunkt, wir haben dann für die im 1. Mittel gegen B_4 gerichteten Strahlen ihren Vereinigungspunkt zu bestimmen. Diese Strahlen treffen also im Mittel I konvergent auf die brechende Fläche, das ist in Wirklichkeit nur möglich, wenn die Strahlen vorher von einem leuchtenden Punkt in einem andern Mittel ausgegangen und durch eine brechende Fläche in unser Mittel I eingetreten sind. Der im Mittel II liegende Vereinigungspunkt der im Mittel I gegen B_4 konvergierenden Strahlen ist dann auch wieder das Bild von B_4, und wir finden es genau wie vorher durch Bestimmung des Schnittpunktes unserer Konstruktionsstrahlen $B_4 O$ und CF_2, der Schnittpunkt B_4' ist dann ein wirkliches (reelles) Bild des gedachten (virtuellen) Objektpunktes B_4, denn die Strahlen $B_4 O$ und CF_2 sind die wirkliche Fortsetzung zweier gegen B_4 gerichteter Strahlen des ersten Mittels. Von der virtuellen Strecke $B_4 A_4$ erhalten wir ein reelles, aufrechtes, verkleinertes Bild $B_4' A_4'$, dessen Abstand von der Kugelfläche größer ist als der (negative) Objektabstand. Kommt das Objekt in die durch O senkrecht zur Hauptachse gelegte — als Knotenpunktebene bezeichnete — Ebene, also in die Lage $B_5 O$, so daß A mit dem Knotenpunkt O und die Objektstrecke mit dem Richtungsstrahl von B_5 zusammenfällt, so fällt das Bild $B_5' O$ der Richtung und Lage nach mit dem Objekt zusammen, ist aber

kleiner, es verhält sich zum Objekt wie die erste Hauptbrennweite zur zweiten, oder wie die Brechungszahl des 1. zu der des 2. Mittels.

$$\frac{B_5'O}{B_5O} = \frac{B_5'O}{CS} = \frac{OF_2}{SF_2} = \frac{f_2 - r}{f_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Wandert nun das Objekt immer weiter, so rückt sein aufrechtes Bild immer näher dem 2. Hauptbrennpunkt und wird immer kleiner; wird der negative Objektsabstand unendlich groß, so fällt das Bild in den 2. Hauptbrennpunkt. Wir sind damit wieder bei unserem Ausgangspunkt angelangt; Strahlen, die nach einem Punkt in negativ unendlichem Abstand gerichtet sind, sind identisch mit gleichgerichteten Strahlen, die von einem Punkt in positiv unendlichem Abstand herkommen.

Diese Betrachtungen können wir mit Hilfe der Fig. 9 sehr leicht auch auf den Fall übertragen, daß die Lichtstrahlen aus

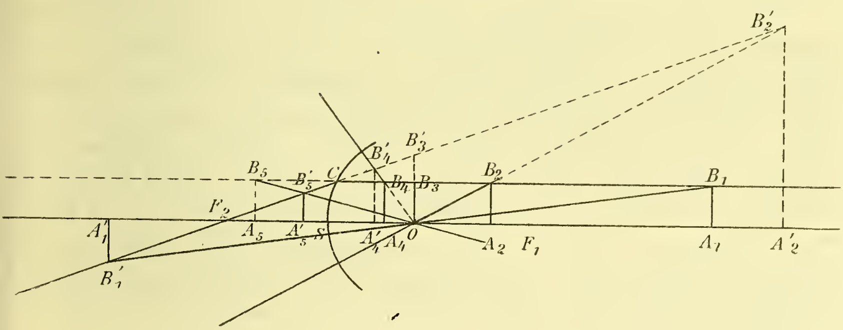


Fig. 9.

dem dichteren Mittel in das dünnere übergehen, wie aus dem linsenlosen Auge in Luft. Wir lassen bei demselben brechenden System einfach das Bild *BA* von der rechten Seite hereinrücken und benützen ganz ebenso wie vorher als Konstruktionsstrahlen den der Hauptachse parallelen Strahl *BC* und den Richtungsstrahl *BO*. Das Mittel, aus dem die Strahlen wirklich herkommen, bezeichnet man in der Regel als Mittel I, wir würden darnach jetzt das rechts gelegene optisch dichtere Mittel als erstes, das linke als zweites Mittel und ebenso den auf der konkaven Seite der Kugelfläche gelegenen Hauptbrennpunkt F_1 als den ersten, den andern als zweiten Hauptbrennpunkt bezeichnen.

Wandert *AB* von ∞ bis F_1, so wandert das umgekehrte reelle Bild von F_2 bis ∞ und wächst von Punktgröße zu unendlicher Größe.

Wandert AB von F_1 bis zur brechenden Fläche, so wandert das aufrechte, virtuelle Bild von rückwärts (negativ) Unendlich bis zur brechenden Fläche, seine Größe verringert sich von unendlicher Größe bis zur Objektgröße; liegt AB in der Knotenpunktsebene, so fallen Bild und Objekt zusammen, der Größe nach verhält sich das Bild zum Objekt wie die Brechungszahl des dichteren zu der des dünneren Mittels. Zwischen Knotenpunkt und brechender Fläche liegt das Bild näher bei dieser als das Objekt, s. Fig. 9 $B_4 A_4$ und $B_4' A_4'$. (Beispiel: Vordere Kammer jedes Auges; das Bild der Pupille ist grösser und der Hornhaut etwas näher als die wirkliche Pupille, die vordere Kammer erscheint daher flacher als sie ist.)

Wandert AB als virtuelles Objekt in „negativem Objektsabstand“ bis ∞, so wandert das reelle aufrechte Bild von der Fläche bis F_2, es nimmt ab von Objektgröße bis Punktgröße.

Das bisher besprochene optische System bezeichnen wir als einfaches lichtsammelndes („kollektives“) System, da die von einem Punkt ausgehenden (oder nach einem Punkt hin gerichteten) Strahlen durch die Brechung entweder konvergent gemacht, also gesammelt, oder weniger divergent gemacht werden, was als „relative Konvergenz“ betrachtet werden kann. Nur wenn das Objekt zwischen brechender Fläche und Knotenpunkt liegt, wie $B_4 A_4$ in Fig. 1, Taf. I und Fig. 9, wird das von B_4 ausgehende (Fig. 9) oder nach B_4 gerichtete (Fig. 1, Taf. I) Strahlenbündel durch die Brechung stärker divergent oder schwächer konvergent gemacht.

Wir kommen jetzt zum

II. Hauptfall: Die Konvexität der kugligen Trennungsfläche sei dem optisch dichteren Mittel zugekehrt: **Einfaches lichtzerstreuendes System.**

Wir wollen hier gleich die Lage der Hauptbrennpunkte bestimmen.

In Fig. 10 sei S der Scheitel, O der im dünneren Mittel gelegene Krümmungsmittelpunkt der brechenden Kugelfläche. Für einen der Hauptachse parallelen Strahl BC im dünneren Mittel I ist der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel, er wird daher dem Einfallslote zu gebrochen, da dieses aber nach dem 2. Mittel hin divergent gegen die Achse ist, so wird auch der gebrochene Strahl divergent, die Konstruktion des Strahles ergibt eine Richtung, die nur in der Verlängerung nach rückwärts die Hauptachse schneidet, dieser Schnittpunkt ist der zweite Hauptbrenn-

punkt F_2. Die vom unendlich fernen Achsenpunkt des 1. Mittels kommenden parallelen Strahlen haben also nach der Brechung eine Richtung, als ob sie von dem in „negativem Bildabstand" gelegenen virtuellen Hauptbrennpunkt F_2 herkämen.

Strahlen, die im 2. Mittel der Achse parallel gehen, haben im 1. Mittel die Richtung nach dem (im 2. Mittel gelegenen) virtuellen Hauptbrennpunkt F_1.

Für ein aus unendlicher Ferne im 1. Mittel hereinrückendes, senkrecht zur Hauptachse gerichtetes Objekt AB können wir uns das Verhalten des zugehörigen Bildes ebenso veranschaulichen, wie im vorigen Fall. Der achsenparallele Strahl BC (s. Fig. 10) hat im 2. Mittel eine Richtung, als ob er von dem rückwärts gelegenen 2. Hauptbrennpunkt F_2 herkäme, der Schnittpunkt dieses Strahles

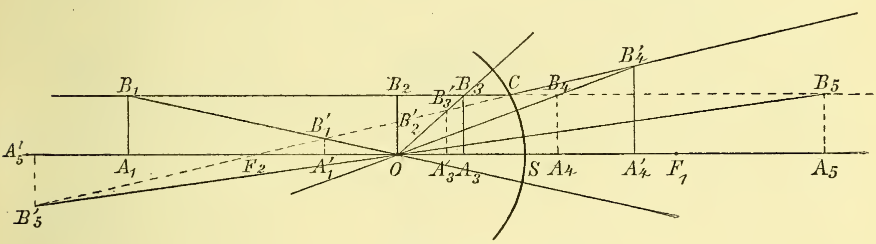


Fig. 10.

mit dem jeweiligen Richtungsstrahl BO ist wieder das Bild von B. Wandert AB von ∞ bis zur brechenden Fläche, so wandert das auf derselben Seite gelegene aufrechte virtuelle Bild von F_2 bis zur Fläche und wächst von Punktgröße zu Objektgröße; in der Knotenpunktsebene fallen Bild und Objekt der Lage nach zusammen, das Bild verhält sich zum Objekt wie die Brechungszahl des 1. zu der des 2. Mittels. Zwischen O und S bleibt das Bild erst hinter dem Objekt zurück und holt es dann allmählich wieder ein; in der brechenden Fläche fallen Objekt und Bild der Lage und Grösse nach zusammen.

Wandert AB als virtuelles Objekt in „negativem Objektabstand" weiter bis in die 1. Hauptbrennebene, so wandert sein aufrechtes reelles Bild von der Trennungsfläche bis ∞ im 2. Mittel und wächst von Objektgröße zu unendlicher Größe. Wandert das virtuelle Objekt von der 1. Hauptbrennebene bis in negativ unendlichen Objektabstand, so wandert sein virtuelles umgekehrtes Bild aus negativ unendlichem Bildabstand (im

1. Mittel) bis F_2 und nimmt von unendlicher Größe bis Punktgröße ab.

Fig. 11 erläutert die Verhältnisse zwischen Objekt und Bild für den Fall, daß das Objekt aus unendlicher Ferne im (rechtsgelegenen) dichteren Mittel nach der Trennungsfläche und jenseits dieser als virtuelles Objekt bis in negativ unendlichen Abstand rückt.

Dieses durch Fig. 10 und 11 veranschaulichte System bezeichnen wir als einfaches lichtzerstreuendes optisches System; die von einem Punkt ausgehenden Strahlen werden durch die Brechung stärker divergent gemacht, die nach einem Punkt jenseits der brechenden Fläche hinzielenden Strahlen werden schwächer

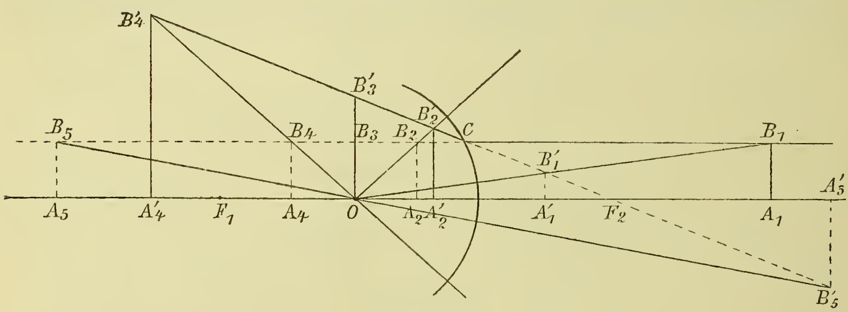


Fig. 11.

konvergent (also „relativ divergent“) oder parallel oder absolut divergent gemacht.

Nur bei Lage des (reellen oder virtuellen) Objektes zwischen brechender Fläche und Knotenpunkt wirkt das System lichtsammelnd.

Die an den Figuren 9—12 erläuterten Verhältnisse lassen sich auch mit einfachen Modellen veranschaulichen: Man zeichnet die Figuren unter Weglassung der Richtungsstrahlen auf weiße Pappe, durchbohrt die Pappe im Knotenpunkt O und steckt von hinten her eine Öse (z. B. eines Handschuhknöpfchens) durch die Pappe; durch die Öse wird ein Draht (dünne Stricknadel) gesteckt, der den Richtungsstrahl vertritt. Der Schnittpunkt des Drahtes mit dem Strahl BC ist der jeweilige Objektpunkt, sein Schnittpunkt mit dem gebrochenen Strahl CF_2 der zugehörige Bildpunkt; durch Drehung des Drahtes kann man den Objektpunkt beliebig verschieben und die entsprechende Wanderung des zugehörigen Bildpunktes unmittelbar zeigen — soweit der Draht reicht.

Grenzfall: Brechung an einer **ebenen Fläche.**

Lassen wir den Halbmesser einer Kugelfläche wachsen, bis er unendlich groß wird, so geht die Kugelfläche in eine ebene

Fläche über; wir können uns diese ebensogut aus einer gegen das dünnere Mittel wie aus einer gegen das dichtere Mittel konvexen Kugelfläche enstanden denken, die Ebene bildet also den Grenzfall zwischen unsern beiden Hauptfällen. Auch bei der Brechung an einer ebenen Fläche bleibt ein homozentrisches Strahlenbündel homozentrisch, wenn alle Strahlen nur kleine Winkel mit dem senkrecht einfallenden Strahl, d. h. dem Richtungsstrahl, bilden. Da hier der Krümmungsmittelpunkt und damit auch die Hauptbrennpunkte unendlich fern sind, können wir sie nicht zur Konstruktion optischer Bilder benützen. Es besteht aber hier ein sehr einfaches Verhältnis zwischen Objekt- und Bildlage eines Punktes: Der Bildabstand verhält sich zum Objektabstand wie die Brechungszahl des zweiten zu der des ersten Mittels und das Bild liegt stets auf derselben Seite der brechenden Fläche, wie das Objekt.

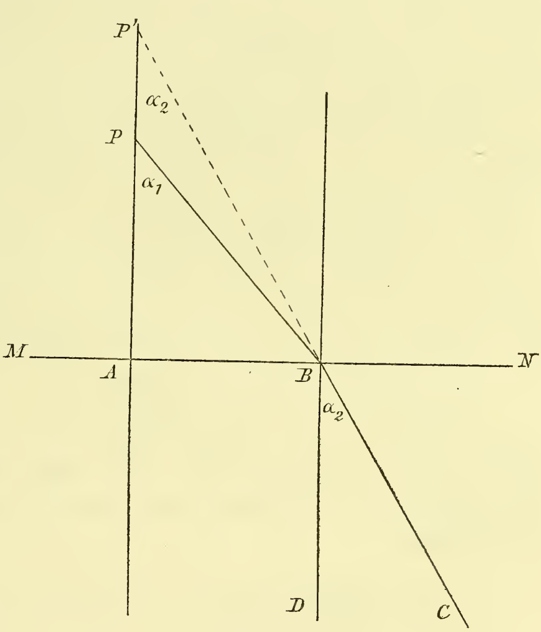


Fig. 12.

In Fig. 12 sei MN der Durchschnitt einer ebenen Trennungsfläche zwischen zwei Mitteln mit den Brechungszahlen n_1 und n_2, wobei das erste Mittel das dünnere sei (also $n_1 < n_2$); für Punkt P im ersten Mittel wollen wir den Bildpunkt bestimmen. Wir ziehen den senkrecht einfallenden Strahl PA, der ungebrochen weitergeht, und konstruieren für irgend einen andern Strahl PB mit dem Einfallswinkel α_1 nach der S. 9 beschriebenen Methode den gebrochenen Strahl BC, der mit dem Einfallslot den Brechungswinkel $CBD = \alpha_2$ bildet; der Strahl BC schneidet in seiner Verlängerung nach rückwärts den Strahl PA in dem virtuellen Bildpunkt P'. Nun ist

1) $$\frac{AB}{AP} = \operatorname{tg} \alpha_1 \quad \text{oder} = \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1},$$

2) $$\frac{AB}{AP'} = \operatorname{tg} \alpha_2 \quad \text{oder} = \frac{\sin \alpha_2}{\cos \alpha_2},$$

dividiert man (1) durch (2), so erhält man

$$\frac{AP'}{AP} = \frac{\sin\alpha_1}{\cos\alpha_1} \frac{\cos\alpha_2}{\sin\alpha_2}.$$

Setzen wir den Objektsabstand $AP = a$, den Bildabstand $AP' = b$, ferner $\sin\alpha_1 / \sin\alpha_2 = n_2/n_1$ (nach dem Brechungsgesetz), so erhalten wir

$$\frac{b}{a} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1}.$$

Unter der Voraussetzung, daß die einfallenden Strahlen nur kleine Winkel mit dem Einfallslote bilden, also als annähernd gleich lang betrachtet werden können, ist das Verhältnis $AP/BP = \cos\alpha_1$, sowie $AP'/BP' = \cos\alpha_2$ nicht merklich von 1 verschieden, wir erhalten dann

$$\frac{b}{a} = \frac{n_2}{n_1} \text{ oder } b = \frac{n_2\, a}{n_1}.$$

Liegt der leuchtende Punkt im dünneren Mittel, ist also $n_1 < n_2$, wie in unserem Fall, so ist $n_2/n_1 > 1$, also $b > a$, d. h. das Bild liegt weiter von der Fläche ab, als der Gegenstand. (Bestehen z. B. die beiden Mittel aus Luft und aus Glas vom Brechungsindex 1,5, so ist für den Übergang der Strahlen aus Luft in Glas $n_1 = 1$, $n_2 = 1{,}5$, also $b = 1{,}5\, a$.)

Liegt der Punkt im dichteren Mittel, ist also $n_1 > n_2$, so ist $n_2/n_1 < 1$ und $b < a$, d. h. das virtuelle Bild liegt der Fläche näher als der Gegenstand. (Für den Übergang von Lichtstrahlen aus Glas in Luft ist $n_1 = 1{,}5$, $n_2 = 1$, $b = \frac{2}{3}a$. Für den Übergang von Strahlen aus Wasser in Luft ist $n_1 = \frac{4}{3}$, $n_2 = 1$, $b = \frac{3}{4}a$.; die scheinbare Tiefe eines Teiches, auf dessen Grund man senkrecht durch die Wasserfläche blickt, beträgt $\frac{3}{4}$ der wirklichen Tiefe.)

Das Verhalten eines konvergent auf eine ebene Fläche treffenden Strahlenbündels (das also gegen einen virtuellen Objektpunkt gerichtet ist) kann man sich auch leicht mit einer Zeichnung klar machen; man bekommt einen reellen Bildpunkt. Praktisch kommt der Fall für uns nicht in Betracht.

Das Bild einer ebenen Figur, die parallel der brechenden Fläche liegt, ist gleich groß und gleich gerichtet wie das Objekt (da die Richtungsstrahlen aller Punkte einander parallel sind). Das Bild ist virtuell bei positivem, reell bei negativem Objektabstande.

b) Lichtbrechung an mehreren Kugelflächen.

Die bisherigen Betrachtungen können wir auch auf Systeme mit mehreren durch Kugelflächen getrennten optischen Mitteln ausdehnen. Wir wollen uns dabei auf die Fälle beschränken, wo sämtliche Hauptachsen der brechenden Flächen in einer geraden Linie liegen, auf ein sogenanntes zentriertes dioptisches System.

Wir hätten nun auch hier die Aufgabe zu lösen, zu einem leuchtenden Punkt im 1. Mittel sein Bild im letzten Mittel zu finden, d. h. den Schnittpunkt der in das letzte Mittel eingetretenen Strahlen — gleichgültig ob dieser selbst wirklich im

letzten Mittel liegt oder virtuell wird — zu bestimmen. Wir könnten diese Aufgabe zunächst stufenweise lösen, indem wir uns das komplizierte optische System zerlegt denken in einfache optische Systeme; und zuerst für die beiden Mittel I und II durch Konstruktion oder durch Berechnung die Lage des Bildes im 2. Mittel bestimmen. Das Bild im 2. Mittel betrachten wir dann als neues (wirkliches oder virtuelles) Objekt für das System II und III und bestimmen das Bild im Mittel III u. s. w.

Wir könnten so für jeden Punkt im 1. Mittel den Gang der Lichtstrahlen im letzten Mittel finden.

Mittelst der Hauptbrennpunkte der Teilsysteme können wir hier auch 2 Hauptbrennpunkte für das ganze System bestimmen, den zweiten Hauptbrennpunkt als den Bildpunkt des unendlich fernen Achsenpunktes des 1. Mittels, den ersten Hauptbrennpunkt als Bildpunkt des unendlich fernen Achsenpunktes des letzten Mittels. Jetzt läßt sich aber nicht mit Hilfe dieser Hauptbrennpunkte ohne weiteres das Bild für irgend einen anderen Punkt finden, denn wir können nicht unmittelbar den Punkt angeben, in dem ein im 1. Mittel achsenparalleler Strahl die letzte brechende Fläche trifft, um dann von diesem aus durch den 2. Hauptbrennpunkt zugehen.

Nun hat aber Gauss 1841 gezeigt, daß wir in jedem zentrierten optischen System mittelst der Brennweiten der Teilsysteme und der Abstände der brechenden Flächen von einander zwei senkrecht zur Hauptachse gelegene Ebenen bestimmen können, deren eine das gleichgerichtete und gleich große Bild der anderen darstellt; ein Objekt, das in der einen Ebene liegt, hat sein gleichgerichtetes und gleich großes Bild in der anderen Ebene. Diese beiden Ebenen bezeichnen wir als **Hauptebenen**, ihre Schnittpunkte mit der Hauptachse als **Hauptpunkte**. Die zwei Hauptebenen vertreten zusammen die Eigenschaften der brechenden Fläche eines einfachen dioptrischen Systems. Der Abstand des 1. Hauptbrennpunktes vom 1. Hauptpunkt ist die 1. Hauptbrennweite, der Abstand des 2. Hauptbrennpunktes vom 2. Hauptpunkt die 2. Hauptbrennweite des zusammengesetzten Systems.

Liegt der 1. Hauptbrennpunkt vor der 1. Hauptebene, und der 2. Hauptbrennpunkt hinter der 2. Hauptebene, so sind die Hauptbrennweiten positiv, die Hauptbrennpunkte sind reelle Bilder der unendlich fernen Achsenpunkte des ersten und letzten Mittels, das brechende System ist lichtsammelnd.

Liegt der 1. Hauptbrennpunkt hinter der 2. Hauptebene, und der 2. Hauptbrennpunkt vor der 1. Hauptebene, so sind die Hauptbrennweiten negativ, die Hauptbrennpunkte sind virtuelle Bilder der unendlich fernen Achsenpunkte, das System ist lichtzerstreuend.

Auch hier gilt, wie bei einem einfachen dioptrischen System, der Satz:

Die 1. Hauptbrennweite verhält sich zur 2. wie die Brechungszahl des 1. zu der des letzten Mittels: $f : f' = n : n'$.

Die mathematische Ableitung der Lage der Hauptebenen müssen wir uns im Interesse der Kürze hier versagen; wer sich genauer unterrichten will, möge die „Physiologische Optik“ von Helmholtz oder die leicht fassliche Darstellung in Hirschberg's „Einführung in die Augenheilkunde“ studieren.

Strahlen, die im 1. Mittel nach einem Punkt der ersten Hauptebene gerichtet sind, haben im letzten Mittel eine Richtung, als ob sie von dem in der 2. Hauptebene in gleicher Richtung

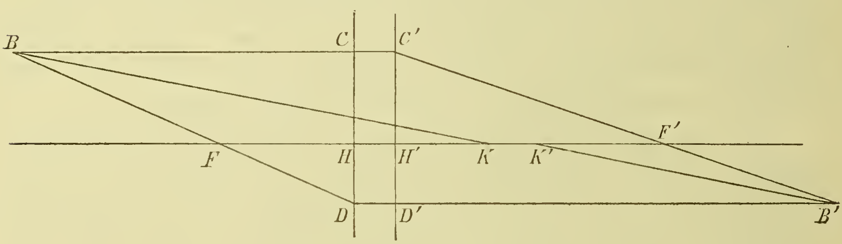


Fig. 13.

und gleichem Abstand von der Hauptachse gelegenen Bild jenes Punktes herkämen.

In einem zusammengesetzten lichtsammelnden System mit den Hauptpunkten H und H' und den beiden Hauptbrennpunkten F und F' (Fig. 13) können wir jetzt für irgend einen Punkt B im 1. Mittel sein Bild im letzten Mittel bequem finden. Der die 1. Hauptebene in C treffende achsenparallele Strahl BC ist zugleich ein Strahl des Punktes C und geht also im letzten Mittel von C' (dem Bild von C) aus durch F'. Der Strahl BF trifft die 1. Hauptebene in D und geht von dessen Bildpunkt D' aus im letzten Mittel parallel der Hauptachse; da D und D' gleichen Abstand von der Hauptachse haben, so können wir den gebrochenen Strahl gleich von D aus parallel zur Hauptachse ziehen, wo dieser den Strahl $C'F'$ schneidet, liegt das Bild B' des Punktes B. Wir haben bei

einem solchen System noch zwei konjugierte Punkte, die ebenfalls zusammen einen einzelnen Punkt in unserm einfachen System, nämlich den Knotenpunkt vertreten. Diese beiden, von Listing 1845 gefundenen Punkte heißen 1. und 2. Knotenpunkt. Ein Strahl, der im ersten Mittel nach dem ersten Knotenpunkt gerichtet ist, geht im letzten Mittel parallel zur ursprünglichen Richtung weiter, und zwar so, als ob er von dem 2. Knotenpunkt herkäme. Die Lage der Knotenpunkte ist abhängig von der Lage der Hauptpunkte und der Hauptbrennpunkte; wenn diese bestimmt sind, so sind auch die Knotenpunkte bestimmt. Der Abstand des hinteren Knotenpunktes K' vom hinteren Hauptbrennpunkt ist gleich der vorderen Brennweite, also $F'K' = FH = f$; ebenso ist der Abstand des vorderen Knotenpunktes vom vorderen Hauptbrennpunkt gleich der 2. Hauptbrennweite, $FK = F'H' = f'$. Da $FH + HH' + H'F' = FK + KK' + K'F'$, so ist $KK' = HH'$, d. h. die beiden Knotenpunkte sind ebenso weit von einander entfernt wie die beiden Hauptpunkte.

Der Strahl BK geht im letzten Mittel von K' parallel seiner ursprünglichen Richtung weiter nach B'; der vor der 1. brechenden Fläche gelegene Teil von BK und der im letzten Mittel gelegene Teil von $K'B'$ gehören dem kürzesten von B nach B' gelangenden Strahle an, den wir als Richtungsstrahl bezeichnen, gerade wie bei einem einfachen System den durch den Knotenpunkt gehenden Strahl; wir können BK und $K'B'$ auch in derselben Weise zur Bildkonstruktion benutzen. Wenn die Brechungszahl des letzten Mittels größer ist als die des ersten, so liegen die Knotenpunkte nach der Seite des letzten Mittels von den Hauptebenen aus (entsprechend der Lage des Knotenpunktes im einfachen System).

Bezeichnen wir mit a den Abstand des Objektes von der 1. Hauptebene, mit b den Abstand des Bildes von der 2. Hauptebene, so gilt für die Beziehung zwischen Objekt- und Bildabstand dieselbe Gleichung wie beim einfachen System:

$$\frac{f}{a} + \frac{f'}{b} = 1$$

Wir können die bei den einfachen optischen Systemen angestellten Betrachtungen ohne weiteres auf die zusammengesetzten Systeme übertragen, wir haben nur statt der einen brechenden Fläche und des einen Knotenpunktes im einfachen System zwei Hauptebenen und zwei Knotenpunkte im zusammengesetzten System.

Die zwei Hauptbrennpunkte, Hauptpunkte und Knotenpunkte eines zusammengesetzten dioptrischen Systems bezeichnet man als die 6 **Kardinalpunkte**. Die gegebenen Grössen, von denen die Lage der Kardinalpunkte abhängt, also Krümmungsradien und Abstände der brechenden Flächen von einander, und die Brechungszahlen der brechenden Mittel, nennt man die optischen Konstanten des Systemes.

Die Bildkonstruktion bei einem lichtzerstreuenden zusammengesetzten System verhält sich zu der bei einem einfachen Zerstreuungssystem ebenso wie die Bildkonstruktion bei einem zusammengesetzten zu der bei einem einfachen Sammelsystem; sie kommt für uns nur bei den Linsen in Betracht und wird bei diesen besprochen.

Wenn das letzte Mittel eines zusammengesetzten Systems gleich dem 1. Mittel ist, also $n' = n$, so werden auch die beiden Hauptbrennweiten gleich (da $f:f' = n:n'$) und damit auch $F'K' = FH = F'H' = FK$ (s. S. 31), d. h. die Knotenpunkte fallen mit den Hauptpunkten zusammen. Das ist bei den Linsen der Fall.

c) Maß der Brechkraft dioptrischer Systeme.

Die Hauptbrennweiten eines dioptrischen Systems sind umso kürzer, je stärker die Strahlen eines Lichtbündels von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt oder gebrochen werden, d. h. je stärker die Brechkraft des Systems ist; die Brechkraft steht im umgekehrten Verhältnis zur Hauptbrennweite, sie ist bei Systemen, bei denen das erste Mittel nicht gleich dem letzten Mittel ist, verschieden, je nach dem die Strahlen in der einen oder in der andern Richtung durch das System gehen. Wir bezeichnen die Brechkraft gerade so wie die Hauptbrennweite als positiv, wenn das System lichtsammelnd wirkt, als negativ, wenn es zerstreuend wirkt. Als Maßeinheit der Brechkraft dient jetzt in der Ophthalmologie die Brechkraft, die einer Hauptbrennweite von 1 Meter entspricht, diese Einheit wurde von Nagel zunächst als Maßeinheit für die Brechkraft der Linsen vorgeschlagen und Meterlinse genannt: von Monoyer wurde sie mit dem jetzt allgemein angenommenen Ausdruck Dioptrie (= dioptrische Einheit, Brechungseinheit) bezeichnet. Eine Dioptrie bedeutet also die Brechkraft eines dioptrischen Systems für eine bestimmte Strahlenrichtung, wenn die hintere Hauptbrenn-

weite für diese Richtung gleich 1 m; einer Hauptbrennweite von $^1/_2$ m, $^1/_3$ m u. s. w. entspricht eine Brechkraft von 2 Dioptrien, 3 Dioptrien u. s. w. Bei Systemen, in denen das erste Mittel gleich dem letzten ist, wie bei den Linsen, ist auch die Brechkraft für beide Strahlenrichtungen gleich, eine Linse hat also nur einerlei Brechkraft. Wir bezeichnen die Brechkraft bei positiver Hauptbrennnweite von 1 m, $^1/_2$ m, $^1/_3$ m u. s. w. kurz mit **+ 1 D**, **+ 2 D**, **+ 3 D** u. s. w., und die Brechkraft bei negativer Hauptbrennweite von 1 m, $^1/_2$ m, $^1/_3$ m u. s. w. mit **— 1 D**, **— 2 D**, **— 3 D** u. s. w.; man schreibt oft auch nur **+ 1,0**, **+ 2,0**, oder **— 1,0**, **— 2,0** u. s. w., die Dezimalstelle dient bei dieser Bezeichnung zur Unterscheidung von der früher üblichen Numerierung der Brillengläser nach dem Krümmungsradius ihrer Oberflächen im Zollmaß (s. u. S. 65).

d) Optisches Bild und Beleuchtungsbild.

Das von einem dioptrischen System entworfene reelle oder virtuelle optische Bild eines Punktes (s. S. 14) wird von einem Auge unmittelbar wahrgenommen, wenn dieses sich im Bereich des von dem Bildpunkt ausgehenden Strahlenkegels befindet. Ein reelles Bild kann mittelbar für jedes Auge sichtbar gemacht werden, wenn man es auf einem Schirm auffängt, so dass auf diesem ein Punkt beleuchtet wird, der wieder nach allen Seiten Licht aussendet. Wenn der Schirm genau am Ort des optischen Bildes angebracht wird, so fällt das Beleuchtungsbild auf dem Schirm mit dem optischen Bild zusammen. Ebenso kann jedes reelle ebene optische Bild eines Gegenstandes (das Bild eines Gegenstandes, der in einer zur optischen Achse des Systems senkrechten Ebene liegt) als scharfes Beleuchtungsbild auf einem Schirm aufgefangen und als solches allgemein sichtbar gemacht werden. Das optische Bild eines nicht ebenen, körperlichen Gegenstandes dagegen ist ebenfalls körperlich; wird es auf einem ebenen Schirm aufgefangen, so ist das hier entstehende Beleuchtungsbild nicht identisch mit dem optischen Bild des Gegenstandes, da auf dem Schirm nur von den Punkten ein scharfes (punktförmiges) Beleuchtungsbild entsteht, deren optisches Bild genau in den Schirm fällt; von allen andern Punkten werden auf dem Schirm nicht wieder Punkte, sondern kleinere oder grössere Flächenstücke beleuchtet, deren Form von dem Querschnitt der zugehörigen Strahlenbündel abhängt.

Fig. 14 möge das Verhältnis zwischen optischem Bild und Beleuchtungsbild veranschaulichen. In einem einfachen lichtsammelnden System sei *A'* das reelle Bild von *A*, *B'* das Bild eines etwas näher der Fläche gelegenen Punktes *B*. Wir wollen die durch einen leuchtenden Punkt senkrecht zur optischen Achse gelegte Ebene kurz als Objektebene, die durch einen Bildpunkt senkrecht zur Achse gelegte Ebene als Bildebene bezeichnen. Auf einem Schirm in der Bildebene von *A'* wird *A'* als scharfer Punkt erscheinen, während der nach *B'* gehende Strahlenkegel von dem Schirm so abgeschnitten wird, daß auf diesem eine Kreisfläche entsteht, wenn die brechende Kugelfläche kreisförmig begrenzt ist. Ein solches Flächenstück, das durch ein von einem Punkt ausgehendes Strahlenbündel beleuchtet wird, bezeichnen wir als Zerstreungsfeld, und wenn es kreisförmig ist, als Zerstreuungskreis. Die Lichtlinie *AB* würde auf dem Schirm nicht eine scharfe Lichtlinie geben, sondern einen Lichtstreif, der bei *A'* scharf wäre, nach oben aber

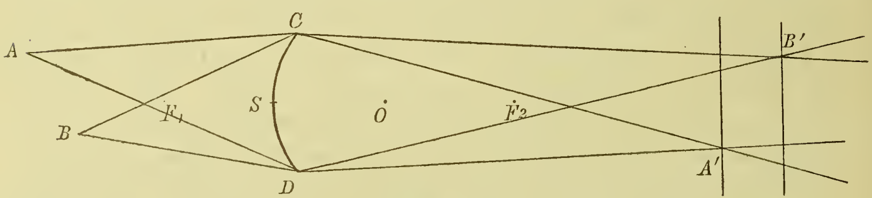


Fig. 14.

sich allmählich verbreiterte bis zur Breite des dem Punkt *B* entsprechenden Zerstreungskreises, dabei würde die Helligkeit des Lichtstreifs von unten nach oben mit der Vergrößerung der Zerstreuungskreise abnehmen. Von einer gleichmäßig hellen Flächenfigur in der Objektebene von *B* würde das Zerstreungsbild auf dem Schirm in der Mitte gleichmäßig hell erscheinen, während es am Rande allmählich in die Helligkeit des Grundes übergeht, also verwaschene Ränder hat.

Wird der Schirm in die Bildebene von *B'* gebracht, so erscheint *B'* scharf, während die in *A'* zum optischen Bild vereinigten Strahlen bereits wieder divergent geworden sind, also jetzt auf dem Schirm einen Zerstreuungskreis bilden.

Je größer der Abstand eines körperlichen Gegenstandes ist im Verhältnis zur Brennweite des dioptrischen Systemes, um so geringer wird der Tiefenunterschied der einzelnen Bildpunkte, und um so

schärfer werden die einzelnen Teile des Beleuchtungsbildes auf einem in entsprechendem Abstand angebrachten Schirm. (Wir kommen darauf bei Besprechung der optischen Bedingungen des Sehens zurück.)

Die Bilddeutlichkeit hängt ab von dem Verhältnis der Größe der Zerstreuungskreise zur Größe des Bildes.

C. Astigmatische Lichtbrechung.

a) Astigmatisch brechende Flächen: Tori.

Die brechenden Flächen des Auges, namentlich die Hornhaut, weichen oft von einer homozentrisch brechenden Fläche ab, so daß ein von einem Punkte ausgehendes Strahlenbündel sich nach der Brechung nicht wieder in einem Punkt vereinigt. Zeigt die Abweichung einer solchen Fläche eine gewisse Regelmäßigkeit, so daß der Strahlengang nach der Brechung noch bestimmbar ist, so sprechen wir von regelmäßigem Astigmatismus (von ἀ und στίγμα, Punkt). Ein solcher Fall liegt vor, wenn eine brechende Fläche nicht in allen Meridianen gleich gekrümmt ist, sondern in einem Meridian am stärksten und in dem darauf senkrechten am schwächsten, mit stetigem Übergang der Krümmung zwischen diesen beiden Meridianen, den sog. Hauptmeridianen der astigmatisch brechenden Fläche, die wir auch als torische Fläche bezeichnen (torus, Pfühl). Denken wir uns ein Auge von oben und unten her zusammengedrückt, so würde die Hornhaut in senkrechter Richtung stärker gekrümmt werden, als in wagrechter, sie würde eine astigmatische oder torische Fläche darstellen.

Wir können uns torische Flächen auch als kleine Abschnitte gewisser Drehungsflächen denken. Lassen wir z. B. (Fig. 15) einen Kreis vom Radius $OS = r$ um eine zu OS senkrechte Sehne MN rotieren, deren Abstand CO vom Kreismittelpunkt gleich d sei, so entsteht eine Drehungsfläche mit einem äußeren und einem inneren Teil. Denken wir uns von der äußeren Fläche durch eine zur Drehungsachse parallele Ebene ein Stück abgeschnitten, dessen Scheitel S sei, so schneidet der durch S gehende (in der Ebene der Zeichnung liegende) Meridian der Drehungsfläche jenes Flächenstück in der Kreislinie ASB, dieser Durchschnitt ASB ist der Hauptmeridian stärkster Krümmung des Flächenstückes (Krümmungshalbmesser $= r$); der senkrecht dazu liegende „Meridian" des Flächenstückes (der im „Äquator" der Drehungsfläche liegt) ist der Hauptmeridian schwächster Krümmung (Krümmungshalbmesser $= r + d$).

Für einen entsprechenden Abschnitt DG der inneren Fläche ist der in der Zeichenebene liegende Meridian DEG (mit Krümmungshalbmesser r) der

Hauptmeridian schwächster Krümmung und der dazu senkrechte der Hauptmeridian stärkster Krümmung (Krümmungshalbmesser $EC = r - d$).

Auch aus einer durch Rotation eines Kreises um eine Tangente oder um eine außerhalb des Kreises gelegene Linie entstandenen Drehungsfläche können wir torische Flächen ausschneiden, ebenso aus jeder Drehungsfläche, die durch Rotation irgend eines Kegelschnittes (Ellipse, Parabel, Hyperbel) um eine der Achsen (oder auch um eine andere Linie) entsteht, also aus einem Drehungsellipsoid oder -paraboloid oder -hyperboloid.

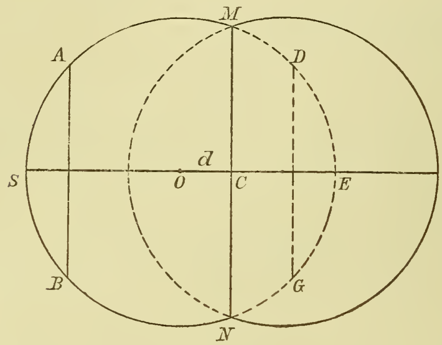


Fig. 15.

Ein Beispiel für ein Drehungsellipsoid ist eine Eischale mit gleichen Polen, wie bei einem Straußenei; denken wir uns um den Schnittpunkt eines Längsschnittes (Meridians) mit dem mittleren Querschnitt (Äquator des Eies) ein kleines Stück der Eischale herausgeschnitten, so haben wir eine torische Fläche, deren Hauptmeridiane dem Querschnitt und dem Längsschnitt des Eies entsprechen. Da letzterer eine Ellipse ist, also keinen einheitlichen Krümmungshalbmesser hat, so kann in diesem Falle als Krümmungshalbmesser des (nur einen kleinen Teil der Ellipse bildenden) Meridians schwächster Krümmung ohne merklichen Fehler der Halbmesser des im Scheitel dieses Meridians „oskulierenden Kreises“[1] angesehen werden.

Die Hauptmeridiane eines torischen Flächenstückes können auch entgegengesetzt gekrümmt sein, der eine konvex, der andere konkav gegen dasselbe Mittel (z. B. bei einem Flächenstück der inneren Seite eines Ringes, der durch Rotation eines Kreises um eine außerhalb gelegene Linie entstanden ist, oder bei einem Abschnitt eines einfachen Hyperboloids).

Den Übergang zwischen einem Flächenstück mit zwei entgegengesetzt gekrümmten Hauptmeridianen und einem solchen mit zwei gleichsinnig gekrümmten Hauptmeridianen bildet ein Flächenstück, dessen einer Hauptmeridian geradlinig ist, also eine zylindrisch gewölbte Fläche.

---

1 Als oskulierenden Kreis einer Kurve bezeichnet man einen Kreis, der drei aufeinanderfolgende Punkte mit der Kurve gemein hat. Für jede Stelle einer Kurve ist nur ein solcher Kreis möglich, da durch drei Punkte ein Kreis bestimmt ist, und den Halbmesser dieses Kreises nennt man den Krümmungshalbmesser der Kurve für diese Stelle. (Ein „tangierender“ Kreis hat nur zwei Punkte mit einer Kurve gemein, kann also beliebig groß sein.)

b) Lichtbrechung an einer torischen Fläche.

Wir wollen uns nun vorstellen, wie ein paralleles Strahlenbündel an einer torischen Fläche gebrochen wird, wenn beide Hauptmeridiane gegen das dünnere Mittel konvex sind; wir haben dann ein **einfaches lichtsammelndes astigmatisches System.** Der Hauptmeridian stärkster Krümmung sei vertikal, der Hauptmeridian schwächster Krümmung horizontal, so daß die Schnittlinie der beiden Hauptmeridianebenen, d. h. die optische Achse der torischen Fläche, horizontal ist. $B_1 B_2 B_3$ (Taf. I, Fig. B) sei der horizontale, $A_2 B_2 C_2$ der vertikale Hauptmeridian der Fläche, $A_1 A_2 A_3$, $B_1 B_2 B_3$ und $C_1 C_2 C_3$ seien Schnittlinien der Fläche mit horizontalen Ebenen, $A_1 B_1 C_1$, $A_2 B_2 C_2$ und $A_3 B_3 C_3$ Schnittlinien mit vertikalen Ebenen, so daß die Punkte A_1, A_3, C_1, C_3 den Ecken eines Quadrates entsprechen. Der Verlauf der durch die 9 Punkte $A_1 \dots C_3$ gehenden, vom unendlich fernen Punkt der Hauptachse kommenden parallelen Strahlen kann uns das Verhalten des ganzen parallelen Strahlenbündels veranschaulichen. Das in dem vertikalen Hauptmeridian $A_2 B_2 C_2$ durch die Fläche gehende Strahlenbüschel[1], das wir als „vertikales Hauptbüschel" bezeichnen wollen, wird sich in dem Hauptbrennpunkt Q_1 dieses Meridians zu einem Punkte vereinigen und dann wieder divergieren; das durch den horizontalen Hauptmeridian $B_1 B_2 B_3$ gehende Strahlenbüschel, das „horizontale Hauptbüschel", vereinigt sich in dem Hauptbrennpunkt Q_2 dieses Meridians.

Das durch $A_1 A_2 A_3$ gehende Strahlenbüschel kann nach der Brechung als mit dem Strahl $A_2 Q_1$ in einer Ebene liegend angesehen werden; in dieser Ebene vereinigt sich das Strahlenbüschel in demselben Abstand von der Fläche, wie das horizontale Hauptbüschel, also in A unterhalb Q_2, dieses wird von jenem in der horizontalen Linie $1 Q_1 3$ geschnitten. Ebenso geht das in $C_1 C_2 C_3$ die Fläche treffende Strahlenbüschel in einer Ebene mit dem Strahl $C_2 Q_1$ weiter, schneidet das horizontale Hauptbüschel auch in der Linie $1 Q_1 3$ und vereinigt sich in C oberhalb Q_2. Alle im ersten Mittel horizontalen Strahlenbüschel haben ihre Vereinigungspunkte in der vertikalen Linie $A Q_2 C$, nachdem sie sich sämtlich in der horizontalen Linie $1 Q_1 3$ geschnitten haben.

---

1 Ein ebenes Strahlenbüschel wollen wir stets als Strahlenbüschel bezeichnen, ein räumliches als Strahlenbündel.

Die Punkte $1\,Q_1\,3$ sind die Vereinigungspunkte der vertikalen Strahlenbüschel, die durch $A_1 B_1 C_1$, $A_2 B_2 C_2$, $A_3 B_3 C_3$ gehen; die Vereinigungspunkte aller vertikalen Strahlenbüschel liegen nebeneinander in der horizontalen Linie $1\,Q_1\,3$; die Büschel gehen, nachdem sie wieder divergent geworden sind, alle durch die vertikale Linie $A\,Q_2\,C$.

Wir erhalten also in unserem Fall als „optisches Bild" des unendlich fernen Punktes der Hauptachse nicht wieder einen Punkt, sondern zwei senkrecht zur Hauptachse liegende hintere Hauptbrennlinien, die erste hintere Hauptbrennlinie $1\,Q_1\,3$ liegt horizontal im Hauptbrennpunktabstand des vertikalen Hauptmeridians, und wird von den Randstrahlen des horizontalen Hauptbüschels begrenzt; die zweite hintere Hauptbrennlinie $A\,Q_2\,C$ liegt vertikal im Hauptbrennpunktabstand des horizontalen Hauptmeridians und wird von den Randstrahlen des vertikalen Hauptbüschels begrenzt. Der Abstand beider Hauptbrennlinien voneinander heißt Brennstrecke.

Dieselben Betrachtungen gelten natürlich für jede Lage der beiden Hauptmeridiane, so das man für ein einfaches lichtsammelndes astigmatisches System allgemein sagen kann: Die erste hintere Hauptbrennlinie liegt im Hauptbrennpunktabstande des stärkstbrechenden und in der Ebene des schwächstbrechenden Meridians, sie wird von den Randstrahlen des in dieser Ebene liegenden Strahlenbüschels begrenzt; die zweite hintere Hauptbrennlinie liegt im Hauptbrennpunktabstande des schwächstbrechenden und in der Ebene des stärkstbrechenden Meridians, sie wird von den Randstrahlen des in dieser Ebene liegenden Strahlenbüschels begrenzt.

Dem hinteren Hauptbrennpunkt einer homozentrisch brechenden Fläche entsprechen also bei einer astigmatisch brechenden Fläche zwei hintere Hauptbrennlinien. Ebenso entsprechen dem vorderen Hauptbrennpunkt einer homozentrisch brechenden Fläche zwei vordere Hauptbrennlinien einer astigmatisch brechenden Fläche, d. h. Strahlen, die im 2. Mittel der Hauptachse parallel sind, gehen im 1. Mittel von der 1. und 2. vorderen Hauptbrennlinie aus, oder, was dasselbe bedeutet, Strahlen, die vom unendlich fernen Punkte der Hauptachse im 2. Mittel herkommen, gehen im 1. Mittel durch die beiden vorderen Hauptbrennlinien. Wir können diese ganz ebenso finden, wie die hinteren Hauptbrenn-

linien, sobald die vorderen Hauptbrennpunkte der 2 Hauptmeridiane bestimmt sind.

Die Lage und Größe der (vorderen und hinteren) Hauptbrennlinien ist also durch die Lage und (vordere und hintere) Hauptbrennweite der beiden Hauptmeridiane, sowie deren Öffnungswinkel bestimmt. Die Hauptbrennlinien sind um so kleiner, je geringer der Unterschied der Hauptbrennweite beider Hauptmeridiane, und je kleiner (unter sonst gleichen Bedingungen) deren Öffnungswinkel sind.

Sind die Hauptmeridiane mit ihren Krümmungsmittelpunkten und Hauptbrennpunkten bekannt, so können wir auch für irgend einen endlichen Punkt der Hauptachse die zugehörigen Brennlinien finden.

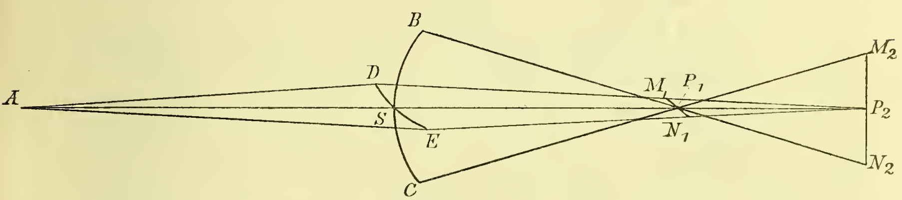


Fig. 16.

Der vertikale Meridian BSC (s. Fig. 16) sei der stärkstbrechende Meridian, der horizontale Meridian DSE der schwächstbrechende; die Hauptbrennweiten beider Hauptmeridiane seien bekannt. Für einen Punkt A der Hauptachse im 1. Mittel, der ausserhalb der vorderen Hauptbrennweite des schwächstbrechenden Meridians liegen möge, konstruieren wir die Schnittpunkte der durch die Hauptmeridiane gehenden Strahlenbüschel genau wie den Bildpunkt bei einem Meridianschnitt einer sphärischen Trennungsfläche (s. S. 20). Der Schnittpunkt des vertikalen Büschels sei P_1, der des horizontalen sei P_2; ziehen wir durch P_1 in der Horizontalebene rechtwinklig zur Hauptachse eine gerade Linie, die die Randstrahlen DP_2 und EP_2 des horizontalen Büschels in M_1 und N_1 trifft, und durch P_2 eine vertikale Linie, die die Randstrahlen BP_1 und CP_1 des (bereits wieder divergierenden) vertikalen Büschels in M_2 und N_2 trifft, so ist $M_1 N_1$ die erste, $M_2 N_2$ die zweite zu P gehörige Brennlinie.

Lassen wir den Punkt P in der zur Hauptachse senkrechten Ebene etwa nach oben rücken, so rücken die zugehörigen beiden

Brennlinien von der optischen Achse aus nach unten; ebenso würden bei Verschiebung des Punktes P nach irgend einer anderen Richtung in derselben Ebene die Brennlinien sich in entgegengesetzter Richtung von der Hauptachse aus verschieben, aber immer ihrer ursprünglichen Lage parallel bleiben, im vorliegenden Fall also horizontal und vertikal. So können wir uns auch für ausserhalb der Hauptachse gelegene Punkte von der Lage der zugehörigen Brennlinien eine für praktische Zwecke genügende Vorstellung machen. Die Konstruktion ließe sich mit Hilfe der darstellenden Geometrie (Orthogonalprojektion) leicht ausführen.

Wir haben bei der Konstruktion der zu irgend einem Achsenpunkt A gehörigen Brennlinien uns auf den praktisch wichtigsten Fall beschränkt, daß A außerhalb der vorderen Brennweite des schwächstbrechenden Meridians liegt. Auch für jede andere Lage des Punktes auf der Achse können die zugeordneten Brennlinien ganz nach demselben Wortlaut konstruiert werden. Fällt A mit dem vorderen Hauptbrennpunkt des schwächstbrechenden Meridians zusammen, so wird die 2. Brennlinie unendlich fern und unendlich groß. Liegt A zwischen den vorderen Hauptbrennpunkten, so wird die 2. Brennlinie virtuell und liegt auf der Seite des 1. Mittels, die 1. Brennlinie bleibt noch reell; die Brennlinien verhalten sich ganz entsprechend wie die Hauptbrennlinien eines gemischt astigmatischen Systemes (s. u. S. 42, Fig. 18). Liegt A im vorderen Hauptbrennpunkt des stärkstbrechenden Meridians, so wird die erste Brennlinie unendlich fern und unendlich groß, die zweite bleibt virtuell und rückt der brechenden Fläche näher. Rückt A noch näher an die brechende Fläche, so wird auch die 1. Brennlinie virtuell. Bei weiterer Annäherung von A an die Fläche rücken auch die virtuellen Brennlinien dem Punkt immer näher (wobei sie immer kleiner werden), bis sie in der Fläche selbst beide mit ihm zusammenfallen. Rückt A in „negativen Objektabstand“ (d. h. trifft ein homozentrisches Strahlenbündel konvergent auf die Fläche), so werden beide Brennlinien wieder reell und liegen auch wieder jenseits der brechenden Fläche zwischen dieser und den hinteren Hauptbrennlinien. Mit diesen fallen sie zusammen, wenn A jenseits der Fläche bis ins Unendliche gerückt ist, also die im 1. Mittel nach ihm gerichteten Strahlen wieder parallel geworden sind.

Auch für nicht auf der Hauptachse liegende Punkte mit beliebigem Abstand von der Fläche sind die zugeordneten Brennlinien leicht abzuleiten, wenn wir uns, wie in dem oben gewählten Beispiel, die Punkte aus der Achse heraus verschoben denken; für die entsprechende Verschiebung der zugehörigen Brennlinien ist nur zu berücksichtigen, daß diese Verschiebung von der Achse aus mit der des Punktes gleichsinnig ist, wenn die betreffende Brennlinie auf der gleichen Seite der brechenden Fläche liegt wie der Punkt (Punkt reell — Brennlinie virtuell, oder umgekehrt), und entgegengesetzt, wenn die betreffende Brennlinie nicht auf der gleichen Seite der Fläche liegt (Punkt reell — Brennlinie reell).

Sind beide Hauptmeridiane einer torischen Fläche gegen das dichtere Mittel konvex, so haben wir ein einfaches licht-

zerstreuendes astigmatisches System. Ein solches hat je zwei virtuelle vordere und hintere Hauptbrennlinien. Strahlen, die vom unendlich fernen Punkt des 1. Mittels kommen, werden nach ihrer Brechung divergent und haben eine Richtung, als ob sie von den rückwärts (in „negativem Abstand") gelegenen virtuellen hinteren Hauptbrennlinien herkämen.

In Fig. 17 seien $B_1 B_2 B_3$ drei Punkte des horizontalen, $A_2 B_2 C_2$ drei Punkte des vertikalen Hauptmeridians, B_2 sei der Scheitel der torischen Fläche. Der horizontale Meridian sei der schwächstbrechende; Q_1 sei der Hauptbrennpunkt des horizontalen, Q_2 der des vertikalen Hauptmeridians. Das vom unendlich fernen Achsenpunkt kommende horizontale Hauptbüschel hat dann nach der Brechung eine Richtung, als ob es von Q_1 herkäme; das vertikale

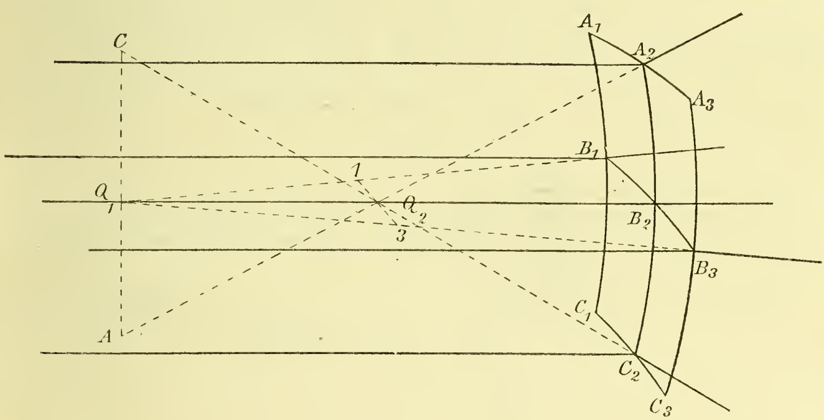


Fig. 17.

Hauptbüschel wird so gebrochen, dass es von Q_2 zu kommen scheint. Die durch Q_1 senkenkrecht zur Achse gezogene vertikale Linie trifft die gebrochenen Randstrahlen des vertikalen Hauptbüschels in ihrer Verlängerung nach rückwärts in A und C, $A Q_1 C$ ist dann die virtuelle erste hintere Hauptbrennlinie. Die durch Q_2 senkrecht zur Achse gelegte horizontale Linie trifft die Randstrahlen des horizontalen Hauptbüschels in 1 und 3, $1\, Q_2\, 3$ ist dann die virtuelle zweite hintere Hauptbrennlinie.

Denken wir uns das vom unendlich fernen Achsenpunkt kommende Strahlenbündel aus lauter in vertikalen Ebenen liegenden Büscheln zusammengesetzt, so liegen die scheinbaren Ausgangspunkte der gebrochenen Büschel alle nebeneinander in der zweiten hinteren Hauptbrennlinie $1\, Q_2\, 3$, und die ge-

brochenen vertikalen Büschel selbst schneiden sich in ihrer Verlängerung nach rückwärts in der ersten hinteren Hauptbrennlinie $A\,Q_1\,C$. Denken wir uns jenes Strahlenbündel in lauter horizontale Büschel zerlegt, so liegen deren scheinbare Ausgangspunkte nach der Brechung alle in der ersten hinteren Hauptbrennlinie $A\,Q_1\,C$, aber — da sich die horizontalen Büschel nach der Brechung alle in ihrer Verlängerung nach rückwärts in $1\,Q_2\,3$ schneiden — gekreuzt, d. h. der scheinbare Ausgangspunkt des obersten horizontalen Büschels (das die Fläche in $A_1\,A_2\,A_3$ trifft) liegt unten bei A, der des untersten liegt oben bei C. (Daß in unserer Figur $Q_1\,C$ länger ist als $Q_1\,A$, rührt davon her, daß der untere Teil $B_2\,C_2$ des vertikalen Hauptmeridians der Fläche länger gezeichnet ist, als der obere Teil $B_2\,A_2$; man ersieht daraus, wie die Länge einer Brennlinie von der Öffnungsweite des in derselben Ebene liegenden Hauptmeridians abhängt.)

Als dritten Fall haben wir die Möglichkeit, daß der eine Hauptmeridian konvex, der andere konkav gegen das dünnere Mittel ist, wir haben ein **einfaches gemischt astigmatisches System.** Die erste hintere Hauptbrennlinie ist dann reell und liegt in der Ebene des konkaven und im Hauptbrennpunktabstand des konvexen Hauptmeridians; die zweite hintere

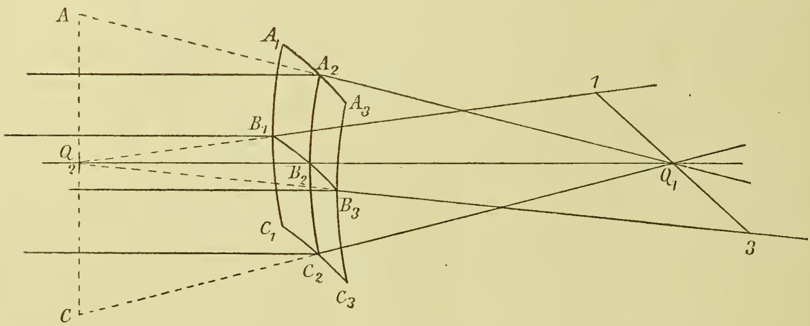


Fig. 18.

Hauptbrennlinie ist virtuell und liegt nach der Seite des dünneren Mittels in der Ebene des konvexen und im Hauptbrennpunktabstand des konkaven Hauptmeridians.

In Fig. 18 ist $B_1 B_2 B_3$ der gegen das dünnere Mittel konkave, $A_2 B_2 C_2$ der konvexe Hauptmeridian, $1\,Q_1\,3$ die reelle erste hintere Hauptbrennlinie, AQ_2C die virtuelle zweite hintere Hauptbrennlinie.

Zwischen diesem dritten Fall und den beiden ersten Fällen giebt es Übergänge: der eine Hauptmeridian kann geradlinig, der andere gegen das dünnere Mittel konvex oder

konkav sein, wir haben dann eine konvexe oder konkave Zylinderfläche.

Bei der gegen das dünnere Mittel **konvexen Zylinderfläche** liegt die erste hintere Hauptbrennlinie im Hauptbrennpunktabstand

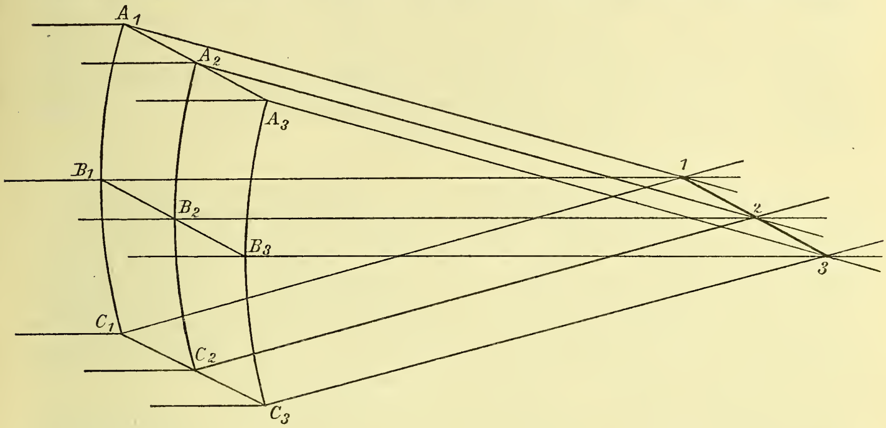


Fig. 19.

des konvexen Hauptmeridians parallel dem geradlinigen Hauptmeridian und ist gleich lang wie dieser, s. Fig. 19, Linie 1 — 2 — 3.

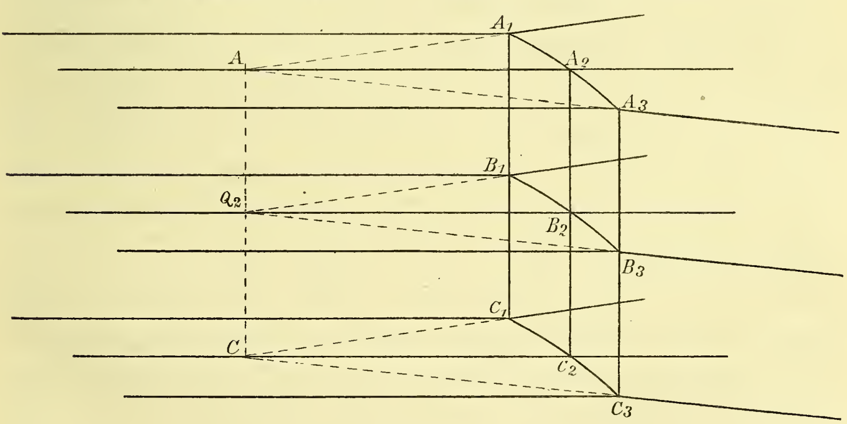


Fig. 20.

Die zweite hintere Hauptbrennlinie liegt unendlich fern in der Ebene des stärkstbrechenden Meridians und ist unendlich groß. Die erste hintere Hauptbrennlinie enthält die Hauptbrennpunkte der sämtlichen parallel der Ebene des konvexen Hauptmeridians liegenden

Strahlenbüschel, die auch nach der Brechung einander parallel bleiben, ihre gemeinsame Schnittlinie, die 2. hintere Hauptbrennlinie wird deshalb unendlich fern und unendlich groß.

Bei einer gegen das dünnere Mittel **konkaven Zylinderfläche** ist die erste hintere Hauptbrennlinie unendlich fern und unendlich groß, die zweite ist virtuell, liegt im Hauptbrennpunktabstand des konkaven Hauptmeridians (in „negativem Bildabstand“) parallel dem geradlinigen Hauptmeridian und ist gleich groß, wie dieser, s. Fig. 20, Linie AQ_2C.

Was beim einfachen lichtsammelnden astigmatischen System über die Konstruktion der einem beliebigen Punkt (auf der Achse und außerhalb der Achse) zugeordneten Brennlinien gesagt wurde, läßt sich leicht auf alle andern astigmatischen Systeme übertragen. Bei der cylindrischen Fläche ist der Vereinigungspunkt des durch den geradlinigen Hauptmeridian gehenden Strahlenbüschels in der S. 27 (Brechung an einer ebenen Fläche) angegebenen Weise zu bestimmen. Die senkrecht zu diesem Meridian liegende Brennlinie wird für einen in positiv endlichem Abstand liegenden Punkt virtuell.

An einer Kugelfläche wird das Strahlenbündel eines nicht achsennahen Punktes auch astigmatisch gebrochen; die durch die Hauptachse der Kugelfläche und die Achse des Strahlenbündels gelegte Ebene enthält den stärkstbrechenden Hauptschnitt.

c) Brechung an mehreren torischen Flächen.

Bei einem System von zwei oder mehr torischen Flächen können für das Strahlenbündel eines Punktes im allgemeinen nur dann zwei Brennlinien bestimmt werden, wenn die Ebenen der Hauptmeridiane der verschiedenen torischen Flächen zusammenfallen. Wir haben dann zwei Hauptmeridianebenen oder Hauptschnitte für das ganze System, und können in diesen die Hauptbrennpunkte ebenso bestimmen, wie bei einem Meridianschnitt eines zentrierten sphärischen Systems. Wie bei einem solchen können wir auch zwei Hauptpunkte und zwei Knotenpunkte finden und so für jedes in einem Hauptschnitt liegende Strahlenbüschel den Strahlengang im letzten Mittel bestimmen. Wir haben in jedem der beiden Hauptschnitte 2 Hauptbrennpunkte, 2 Hauptpunkte und 2 Knotenpunkte; der Abstand des (vorderen oder hinteren) Hauptbrennpunktes von dem zugehörigen Hauptpunkt ist die (vordere oder hintere) Hauptbrennweite des Systems in dem betreffenden Hauptschnitt. Wie beim einfachen astigmatischen System bekommen wir entsprechend den hinteren Hauptbrennpunkten der zwei Hauptschnitte zwei hintere Hauptbrennlinien des Systems, und ebenso zwei vordere Haupt-

brennlinien. Deren Lage verhält sich ganz entsprechend wie beim einfachen astigmatischen System.

Im allgemeinen werden Systeme aus zwei oder mehr torischen Flächen astigmatisch wirken, aber es kann auch vorkommen, dass die Brennweiten der Hauptschnitte gleich werden, daß also ein homozentrisches Strahlenbündel nach zwei oder mehr astigmatischen Brechungen wieder homozentrisch wird. (Beispiele folgen im zweiten Teil.)

d) Kombination torischer und sphärischer Flächen.

Wird eine torische Fläche in ein homozentrisch brechendes System eingefügt, so entsteht stets ein astigmatisches System (Beispiel: astigmatisches Auge, Kombination sphärischer und cylindrischer Linsen, s. u.). Werden zwei oder mehr torische Flächen mit einem sphärischen System kombiniert, so wird das System im allgemeinen auch astigmatisch sein, aber es kann auch in besonderen Fällen homozentrisch bleiben, indem die Brennweiten der Hauptschnitte gleich werden. (Beispiel: astigmatisches Auge mit Brillenkorrektion, s. zweiter Teil.)

e) Beleuchtungsbilder bei astigmatischer Lichtbrechung.

Ein eigentliches optisches Bild eines leuchtenden Punktes kommt bei astigmatischer Lichtbrechung nicht zu Stande, deshalb kann auch von einem Gegenstande kein geometrisch ähnliches optisches Bild entworfen werden. Es ist nun praktisch wichtig, daß wir uns eine Vorstellung davon machen, wie sich bei einem lichtsammelnden astigmatischen System die Beleuchtungsbilder verhalten. Die später zu besprechenden Leistungen eines astigmatischen Auges und und deren Verbesserung durch optische Hilfsmittel werden dann leicht verständlich werden.

An Fig. *B* auf Taf. I können wir uns zunächst das Verhalten der Beleuchtungsbilder des unendlich fernen Achsenpunktes klar machen. In unserer Figur ist die brechende Fläche quadratisch begrenzt und der schwächstbrechende Meridian horizontal angenommen. Denken wir uns zuerst einen lichtauffangenden Schirm in der ersten Hauptbrennebene angebracht, also in der durch $1\,Q_1 3$ senkrecht zur optischen Achse gelegten Ebene. Hier wird das Beleuchtungsbild von der ersten Hauptbrennlinie gebildet. Verschieben wir nun den Schirm nach rückwärts, so erhalten wir zunächst als Beleuchtungsbild ein Rechteck mit längerer horizon-

taler Seite; je weiter wir den Schirm zurückschieben, umso kürzer wird die horizontale und umso länger die vertikale Seite des Rechtecks, es wird also bald eine Stelle kommen, wo das Beleuchtungsbild quadratisch wird, also der Begrenzungsform der brechenden Fläche entspricht; diese Stelle liegt etwas näher der ersten als der zweiten Hauptbrennlinie. Weiter rückwärts nimmt das Beleuchtungsbild immer mehr an Höhe zu und an Breite ab, bis es in der zweiten hinteren Hauptbrennebene zu einer vertikalen Linie, der zweiten Hauptbrennlinie, wird. Verschieben wir den Schirm noch weiter rückwärts, so entsteht wieder ein Rechteck mit längerer vertikaler Seite.

Verschieben wir den Schirm von der ersten hinteren Hauptbrennebene aus nach vorn gegen die brechende Fläche, so entsteht zunächst, gerade wie unmittelbar hinter der ersten Hauptbrennebene, ein horizontal liegendes Rechteck, dieses wächst bei weiterem Vorrücken des Schirmes an Höhe rascher als an Breite und nähert sich immer mehr dem quadratischen Umriss der brechenden Fläche.

Ist die Abgrenzung der brechenden Fläche kreisförmig, was meistens der Fall ist, so erhalten wir da, wo wir vorher Rechtecke als Beleuchtungsbilder hatten, Ellipsen, deren grosse und kleine Achsen sich zu einander verhalten wie vorher die langen und kurzen Seiten der Rechtechte. An der Stelle, wo das Beleuchtungsbild quadratisch wurde, wird es jetzt kreisförmig, wir bezeichnen diesen kreisförmigen Querschnitt des astigmatischen Strahlenbündels als Hauptbrennkreis. Sein Abstand von der ersten Hauptbrennlinie verhält sich zu seinem Abstand von der zweiten Hauptbrennlinie wie die Länge der ersten zur Länge der zweiten Hauptbrennlinie, und somit auch wie die Hauptbrennweite des stärkstbrechenden zur Hauptbrennweite des schwächstbrechenden Meridians (Mauthner). Vom Hauptbrennkreis ab nach der ersten Hauptbrennlinie zu haben wir horizontale, nach der zweiten Hauptbrennlinie zu vertikale Ellipsen.

In den beiden Hauptbrennebenen fallen also die Beleuchtungsbilder mit den Hauptbrennlinien zusammen, sie sind von der Form der brechenden Fläche nur soweit abhängig, als die Größe der Brennlinien vom Öffnungswinkel der Hauptmeridiane abhängt (s. S. 39); an allen anderen Stellen haben wir als Beleuchtungsbild ein Zerstreuungsfeld (s. S. 34). An einer bestimmten Stelle der Brennstrecke wird das Beleuchtungsbild (Zerstreuungsfeld) der Begrenzung der brechenden Fläche geometrisch ähnlich, die Zwischenstellen

zeigen Übergänge zwischen dieser Form und den Hauptbrennlinien; dies- und jenseits der Brennstrecke hängt die Form des Beleuchtungsbildes auch wieder von dem Umriß der brechenden Fläche ab.

Dieselbe Wirkung, wie die Begrenzung der brechenden Fläche selbst, hätte die Form einer vor oder hinter der Fläche angebrachten Blende, indem diese den Querschnitt des Strahlenbündels bestimmt.

Wir wollen unseren weiteren Betrachtungen immer eine kreisförmige Begrenzung der brechenden Fläche zu Grunde legen.

Bei einem Achsenpunkt in endlichem Abstand von der brechenden Fläche richten sich die Beleuchtungsbilder ganz ebenso wie beim unendlich fernen Punkt nach dem Verhältnis der Lage des Schirms zu den dem leuchtenden Punkt zugeordneten Brennlinien und dem Öffnungswinkel der beiden Hauptmeridiane; der Brennkreis teilt auch hier die Brennstrecke nach dem Größen-

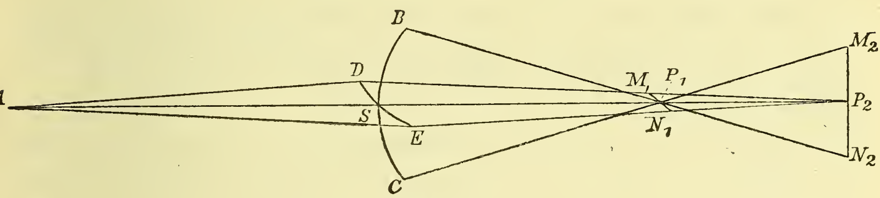


Fig. 21.

verhältnis der Brennlinien und damit nach dem Verhältnis der zu dem leuchtenden Punkt gehörigen (relativen) Brennweiten (d. h. der Abstände der Brennlinien von der brechenden Fläche).

Wir können uns nun auch von den Beleuchtungsbildern einer senkrecht zur optischen Achse liegenden geraden Linie leicht eine Vorstellung machen. Denken wir uns in Fig. 21 durch den Punkt A eine vertikale Linie gelegt und deren Beleuchtungsbild auf einem durch $M_1 N_1$ senkrecht zur Achse gelegten Schirm aufgefangen. Hier werden die Beleuchtungsbilder aller einzelnen Punkte der Linie zu einem horizontalen Strich von der Länge $M_1 N_1$ verzerrt erscheinen, das umgekehrte Beleuchtungsbild der Linie erscheint somit als vertikaler Lichtstreif, dessen Breite der Länge der Linie $M_1 N_1$ entspricht. Denken wir uns nun die ursprünglich vertikale Linie langsam um die optische Achse gedreht, so dreht sich das Beleuchtungsbild mit, wird immer schmäler und

schärfer, und wenn die Objektlinie horizontal geworden ist, so erscheint ihr Beleuchtungsbild ganz scharf, da jetzt die horizontalen Brennlinien der einzelnen Punkte sich gegenseitig überlagern, also in eine gerade Linie zusammenfallen; die Bildlinie erscheint aber etwas verlängert und an den Enden matt ausgezogen, da die überstehenden Brennlinien der Endpunkte nur von einer Seite her noch teilweise durch die Brennlinien benachbarter Punkte verstärkt werden. In Fig. 22 veranschaulichen *a, b, c, d* das Beleuchtungsbild bei vier verschiedenen Lagen der Objektlinie.

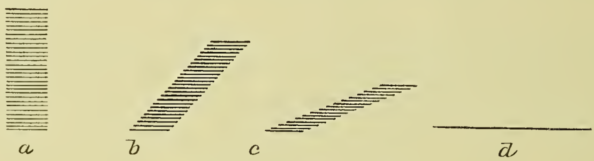


Fig. 22.

Auf einem durch die zweite Brennlinie $M_2 N_2$ gelegten Schirm (also in der zweiten zu A gehörigen Bennebene) erscheint das Bild einer vertikalen Linie scharf, das einer horizontalen am verschwommensten.

Denken wir uns in der Objektebene von A ein Kreuz mit vertikalem und gleich langem horizontalem Arm, so erscheint in der ersten zu A gehörigen hinteren Brennebene das Beleuchtungsbild des horizontalen Arms scharf, das des vertikalen verschwommen; lassen wir den Schirm nach hinten rücken, so wird das Beleuchtungsbild des horizontalen Arms immer verschwommener, das des vertikalen immer schärfer, in der Ebene des zu A gehörigen Brennkreises erscheinen beide Arme gleichmäßig verschwommen, weiter rückwärts wird der vertikale Arm schärfer als der horizontale, bis er in der zweiten zu A gehörigen Brennebene ganz scharf wird. Noch weiter nach hinten wird der vertikale Arm auch wieder verschwommen, beide Arme werden immer undeutlicher.

Ebenso werden die Beleuchtungsbilder beider Kreuzarme wieder undeutlicher, wenn wir den Schirm von $M_1 N_1$ aus gegen die brechende Fläche vorrücken lassen.

Dieselben Betrachtungen gelten, wenn wir das Kreuz in der Objektebene von der optischen Achse aus nach irgend einer Richtung sich selbst parallel verschieben, das Beleuchtungsbild rückt dann als umgekehrtes Bild auf dem Schirm in entgegen-

gesetzter Richtung von der Achse ab und verhält sich im übrigen (bei Verschiebung des Schirms) ganz wie vorhin besprochen.

Diese Ausführungen gelten für jede Lage des Objekts außerhalb der vorderen Brennweite des schwächstbrechenden Meridians (wenn also jedem leuchtenden Objektpunkt zwei reelle Brennlinien zugeordnet sind).

Bei einer geraden Linie können wir in gewissem Sinne auch von einem „optischen Bild" sprechen, wenn die ersten oder die zweiten Brennlinien der die Objektlinie zusammensetzenden Punkte in eine gerade Linie zusammenfallen. Dies kann nur eintreten bei geraden Linien, die parallel zu einer Hauptbrennlinie oder, was dasselbe bedeutet, senkrecht zur Ebene eines Hauptmeridians (senkrecht zu einem Hauptschnitt) liegen, der Ort des Bildes hängt von der Brechkraft dieses Hauptmeridians ab.

Wir können dann allgemein sagen: Von einer senkrecht zu einem Hauptschnitt gelegenen geraden Linie erhält man ein scharfes Beleuchtungsbild, wenn dieses mit dem optischen Bild der Linie zusammenfällt, d. h. wenn der Schirm in die Bildebene fällt.

Das optische Bild einer geraden Linie wird virtuell, wenn sie innerhalb der vorderen Hauptbrennweite des zu ihr senkrechten Hauptschnittes liegt; liegt sie gerade im Hauptbrennpunktabstand dieses Hauptschnittes, so wird ihr optisches Bild unendlich fern und unendlich groß. Der Ort des optischen Bildes der Linie hängt also immer von der Brechkraft des zu ihr senkrechten Hauptschnittes ab.

Wird von einer senkrecht zur optischen Achse liegenden ebenen Figur das Beleuchtungsbild in einer der zugeordneten Brennebenen entworfen, so werden die meisten Linien in verschiedenem Grade verschwommen erscheinen; nur solche Linien werden scharf sein, die zugleich optische Bilder von Objektlinien sind, aber sie erscheinen im Verhältnis zu den anderen Durchmessern des Bildes zu lang; das ganze Beleuchtungsbild ist daher der Figur wenig ähnlich. Dagegen kann in der Ebene des zum Achsenpunkt der Figur gehörigen Brennkreises — die wir als Brennkreisebene der Figur bezeichnen wollen — ein der Figur ziemlich ähnliches Beleuchtungsbild zu Stande kommen (wie C. Hess auf photographischem Wege gezeigt hat), alle Bildlinien erscheinen gleichmäßig verschwommen und in richtigem Größenverhältnis. Die Ähnlichkeit des

Bildes oder die Bilddeutlichkeit ist auch hier (wie bei einem Zerstreuungsbild in einem homozentrischen System) umso größer, je kleiner die Zerstreuungskreise der einzelnen Punkte im Verhältnis zu den von ihnen begrenzten Flächenstücken sind. Die Bilddeutlichkeit wird also umso größer, je größer die Gegenstände und je kleiner die Öffnung der brechenden Fläche. Ist diese sehr klein, oder ist vor (oder hinter) dem Scheitel der Fläche eine sehr enge kreisförmige Blende angebracht, so wird das Beleuchtungsbild im ganzen Bereich der Brennstrecke, besonders aber in der Brennkreisebene, verhältnismäßig scharf und dem Gegenstand sehr ähnlich. Der Bildebene in einem homozentrischen System entspricht in einem astigmatischen System am meisten die Brennkreisebene, wir können auf sie den Begriff der Bildebene ausdehnen und sie in diesem weiteren Sinn bei einem astigmatischen System als Ort des optischen Bildes für eine senkrecht zur optischen Achse liegende Flächenfigur definieren; wir können so auch bei einem astigmatischen System für jeden Objektabstand den Ort des reellen oder virtuellen Bildes bestimmen, nur müssen wir uns bewußt bleiben, daß hier das optische Bild dem Gegenstand nur in gewissem Grade ähnlich ist. Objektebene und Brennkreisebene sind einander ebenso zugeordnet, wie Objektebene und Bildebene bei homozentrischer Brechung; für einen leuchtenden Punkt in der ursprünglichen Brennkreisebene liegt der zugeordnete Brennkreis in der ursprünglichen Objektebene.

Bringen wir vor einem Hauptmeridian eines astigmatischen Systems einen schmalen Spalt an, der nur durch diesen Hauptmeridian und dessen allernächste Umgebung Strahlen durchläßt, so hat das System nahezu die Wirkung eines homozentrischen Systems von der Brechkraft dieses Meridians; die Wirkung des anderen Hauptmeridians kommt nicht mehr wesentlich in Betracht.

f) Unregelmäßiger Astigmatismus.

Sind in einer brechenden Fläche Unregelmäßigkeiten der Krümmung vorhanden, so daß nicht alle Strahlen eines die Fläche treffenden homozentrischen Strahlenbündels nach der Brechung durch einen Punkt oder durch zwei Brennlinien gehen, so sprechen wir von unregelmäßigem Astigmatismus. Es kann dabei selbst ein Teil der Strahlen noch homozentrisch bleiben, so daß sie für sich ein optisches Bild geben, aber infolge der Bei-

mengung der unregelmäßig gebrochenen Strahlen kann das optische Bild nicht als scharfes Bild für sich allein wahrgenommen werden, und ebenso wird jedes Beleuchtungsbild durch diese Strahlen mehr oder weniger undeutlich gemacht.

Setzt sich eine brechende Fläche aus Teilen zusammen, die für sich mehr oder weniger regelmäßig sind, aber verschiedene Brechkraft (Krümmung) haben, so wird das ganze Strahlenbündel in verschieden gebrochene Bündel zerteilt, wodurch mehrere (optische und Beleuchtungs-)Bilder zu Stande kommen können; diese sind aber verhältnismäßig lichtschwach und meist undeutlich.

Oft können aus einem unregelmäßig gebrochenen Strahlenbündel durch eine enge Blende schmale ganz oder nahezu homozentrische Bündel abgesondert werden. Wir kommen darauf beim unregelmäßigen Astigmatismus des Auges zurück.

D. Monochromatische und chromatische Aberration.

Bei Brechung an einer Kugelfläche bleibt ein von einem achsennahen Punkt ausgehendes Strahlenbündel nur dann homozentrisch, wenn alle Strahlen die Fläche unter sehr kleinen Einfallswinkeln treffen und das Strahlenbündel nur einfaches Licht enthält. Die Erfüllung der ersten Bedingung kann dadurch gestört sein, daß der Öffnungswinkel der Kugelfläche oder der des Strahlenbündels[1] zu groß ist. In diesem Fall macht sich die stärkere Brechung oder sphärische Aberration der Randstrahlen geltend, sie haben, je nach der Beschaffenheit des dioptrischen Systems und dem Abstand des leuchtenden Punktes, eine kürzere oder längere Vereinigungsweite als die zentralen Strahlen oder „Nullstrahlen", wie man den zentralen Teil des Strahlenbündels auch nennt. Bei positiver Vereinigungsweite bezeichnen wir auch die sphärische Aberration als positiv, bei negativer Vereinigungsweite als negativ.

Bei merklicher sphärischer Aberration entsteht von einem Punkt kein ganz scharfes optisches Bild, der schmalste Querschnitt des gebrochenen Strahlenbündels ist nicht punktförmig, sondern bildet einen kleinen Zerstreuungskreis, der, ähnlich wie der Brennkreis bei

1 Den Winkel, den die Randstrahlen in einem durch die Achse des Strahlenkegels gelegten Schnitt miteinander bilden, bezeichnen wir als Öffnungswinkel des Strahlenbündels; er kommt z. B. bei der Brechung an einer ebenen Fläche für die Aberration allein in Betracht, da hier der Öffnungswinkel der Fläche unendlich klein ist.

einem astigmatisch gebrochenen Strahlenbündel, näher dem Vereinigungspunkt der stärker gebrochenen Strahlen, hier also dem der Randstrahlen, liegt (da jene einen Kegel von größerem Öffnungswinkel bilden, also nach ihrer Vereinigung rascher divergieren). Den Halbmesser dieses kleinsten Zerstreuungskreises nennt man die Seitenabweichung, den Unterschied der Vereinigungsweite der Randstrahlen und der Nullstrahlen die Längenabweichung der sphärischen Aberration. (Die Längenabweichung entspricht gewissermaßen der Brennstrecke bei astigmatischer Lichtbrechung.)

Es giebt für jede Kugelfläche ein bestimmtes konjugiertes Punktpaar auf der Achse (abgesehen vom Krümmungsmittelpunkt), für das die Strahlen nach der Brechung homozentrisch bleiben, für dieses Punktpaar ist die Kugelfläche aberrationsfrei. Ebenso sind gewisse andere Flächen für einen bestimmten Objektabstand aberrationsfrei, so für den unendlich fernen Achsenpunkt eine bestimmte Form von Drehungsellipsoiden, bei denen der Krümmungsradius vom Scheitel (Pol) nach dem Äquator hin in bestimmter Weise zunimmt; eine Fläche, bei der der Krümmungsradius nach dem Rande ihn rascher zunimmt, bewirkt bei sonst gleichen Bedingungen eine schwächere Brechung der Randstrahlen, die sphärische Aberration ist „überkorrigiert“.

Durch Kombination von Flächen mit sphärischer Aberration und mit überkorrigierter sphärischer Aberration, ebenso durch Kombination sphärischer Flächen mit positiver und negativer Aberration kann für einen bestimmten Objektabstand die Aberration vermindert oder beseitigt werden. Ein solches aberrationsfreies System, ebenso eine aberrationsfreie Fläche, nennt man aplanatisch (*ἀ* und *πλανάομαι*, ich schweife, also ein System ohne abschweifende Strahlen).

Die sphärische und die überkorrigierte sphärische Aberration bezeichnet man als monochromatische Aberration oder Abweichung, weil ihr auch Strahlenbündel von einfarbigem Licht unterworfen sind.

In der Regel sendet ein leuchtender Punkt Lichtstrahlen von verschiedener Wellenlänge aus; für diese ist wegen ihrer verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit in durchsichtigen Mitteln die Brechungszahl eines und desselben Mittels verschieden, diese ist um so größer, je kürzer die Wellenlänge. In einem homozentrisch brechenden System ist deshalb die Brennweite für kurzwellige Strahlen kürzer, als für langwellige, ein aus gemischtem Licht bestehendes Strahlenbündel kann sich daher nicht genau in einem

Punkt vereinigen, in der Brennebene für die Strahlen einer bestimmten Wellenlänge bilden nur diese Strahlen einen Punkt, die andersfarbigen Strahlen dagegen Zerstreuungskreise. Für die Optik des Auges kommt indes diese „chromatische Aberration“ oder Farbenabweichung praktisch nicht wesentlich in Betracht, wir können uns meist ohne wesentlichen Fehler jedes Strahlenbündel als aus Strahlen mittlerer Brechbarkeit (Gelb bis Grün) bestehend vorstellen; wo diese sich zu einem Bildpunkt vereinigen, sind die Zerstreuungskreise der andersfarbigen Strahlen meist so klein oder so lichtschwach, daß sie nicht stören.

---

3. Das Auge als optischer Apparat.

A. Das dioptrische System des Auges.

Das menschliche Auge stellt ein sehr kompliziertes lichtsammelndes System dar, dessen Brechkraft wegen der Fähigkeit der Linse, ihre Form zu ändern, in gewissem Umfange schwankt. Es entwirft auf der Netzhaut ein Beleuchtungsbild der Außenwelt. Die Formänderung der Linse ist von der Thätigkeit des Ciliarmuskels abhängig; ihre Wirkung auf den dioptrischen Zustand des Auges bedingt die Akkommodation (s. II. Teil). Die Linse hat ihre flachste Form und damit ihre geringste Brechkraft, wenn der Ciliarmuskel in Ruhe, das Auge also akkommodationslos ist. Wir betrachten zunächst das dioptrische System des Auges unter Ausschluß der Akkommodation.

Als brechende Flächen haben wir die beiden Oberflächen der Hornhaut und der Linse, und die Flächen der zahlreichen Schichten, aus denen die Linse zusammengesetzt ist. Als durchsichtige Mittel haben wir vor dem Auge Luft, im Auge die Hornhautsubstanz, das Kammerwasser, die Substanz des Linsenkerns und der verschiedenen Linsenschichten, die von außen nach dem Kern zu an optischer Dichtigkeit zunehmen, und den Glaskörper. Von der Wirkung dieses dioptrischen Systems können wir uns leicht eine Vorstellung machen, wenn wir uns gewisse Vereinfachungen gestatten, die an der Wirkung nichts Wesentliches ändern. Zunächst können wir die Wirkung der hinteren Hornhautfläche vernachlässigen, da Hornhaut und Kammerwasser fast ganz dieselbe

optische Dichtigkeit haben und deshalb die Brechung an der hinteren Hornhautfläche verschwindend gering ist. Die geschichtete Linse können wir uns ersetzt denken durch eine in sich gleichartige Linse von derselben Form und mit bestimmtem Brechungsvermögen, das etwas größer als das des Linsenkerns ist.

Die brechende Wirkung für den Übergang der Lichtstrahlen aus dem Kammerwasser durch die Linsenschichten und den Kern in den Glaskörper verteilt sich auf eine große Anzahl brechender Flächen, deren Konvexität immer dem optisch dünneren Mittel zugekehrt ist, und deren Krümmungshalbmesser nach dem Kern hin abnimmt; jede einzelne dieser Flächen wirkt daher lichtsammelnd (wenn auch verhältnismäßig schwach, da der Dichtigkeitsunterschied benachbarter Schichten gering ist). Die Summe aller dieser Brechungen, die größtenteils an Flächen von kürzerem Krümmungshalbmesser als dem der Oberflächen der Linse stattfinden, könnte auch ersetzt werden durch die Brechung an einer isotropen Linse mit dem Brechungsindex des Kerns, deren Oberflächen einen größeren Krümmungshalbmesser als der Kern und einen kleineren als die Oberflächen der wirklichen Linse hätten. Eine isotrope Linse von der Form der wirklichen Linse könnte daher nur bei stärkerem Brechungsindex, als dem des Kerns, dieselbe Brechkraft haben.

(Der Umstand, daß die Linsenschichten nach dem Äquator der Linse hin dicker sind, also die Krümmungshalbmesser der einzelnen Trennungsflächen nach dem Kern zu rascher abnehmen, als wenn die Schichten genau konzentrisch wären, steigert noch etwas die Sammelwirkung der einzelnen Flächen.)

Durch Untersuchungen an Lebenden hat v. Helmholtz die optischen Konstanten für ein **schematisches Durchschnittsauge** bestimmt und daraus die Lage der Kardinalpunkte (s. S. 32) für das dioptrische System eines solchen schematischen Auges abgeleitet. Darnach liegt

der vordere Hauptbrennpunkt	13,7	mm	vor	dem	Hornhautscheitel
„ erste Hauptpunkt	1,75	„	hinter	„	„
„ zweite „	2,1	„	„	„	„
„ erste Knotenpunkt	6,97	„	„	„	„
„ zweite „	7,3	„	„	„	„
„ hintere Hauptbrennpunkt	22,8	„	„	„	„

Die hintere Hauptbrennweite (Abstand des hinteren Hauptbrennpunktes vom zweiten Hauptpunkt) beträgt somit 20,7 mm, die vordere Hauptbrennweite 15,5 mm.

Fig. 23 zeigt die Lage der Kardinalpunkte des schematischen Auges: $h_{,}$ und $h_{,,}$ sind die beiden Hauptpunkte, $k_{,}$ und $k_{,,}$ die beiden Knotenpunkte, $F_{,}F_{,,}$ ist die optische Achse.

Da die beiden Hauptpunkte, sowie die beiden Knotenpunkte sehr nahe bei einander liegen, lassen sie sich ohne praktisch wichtigen Fehler in je einen Haupt- und Knotenpunkt zusammenziehen (reduziertes Auge nach Listing); die Wirkung eines solchen vereinfachten Auges würde durch eine einzige Kugelfläche hervorgebracht, deren Mittelpunkt der Knotenpunkt und deren Scheitel der Hauptpunkt wäre, während sich vor ihr Luft, hinter ihr Glaskörper befände. In Fig. 23 ist die Kugelfläche

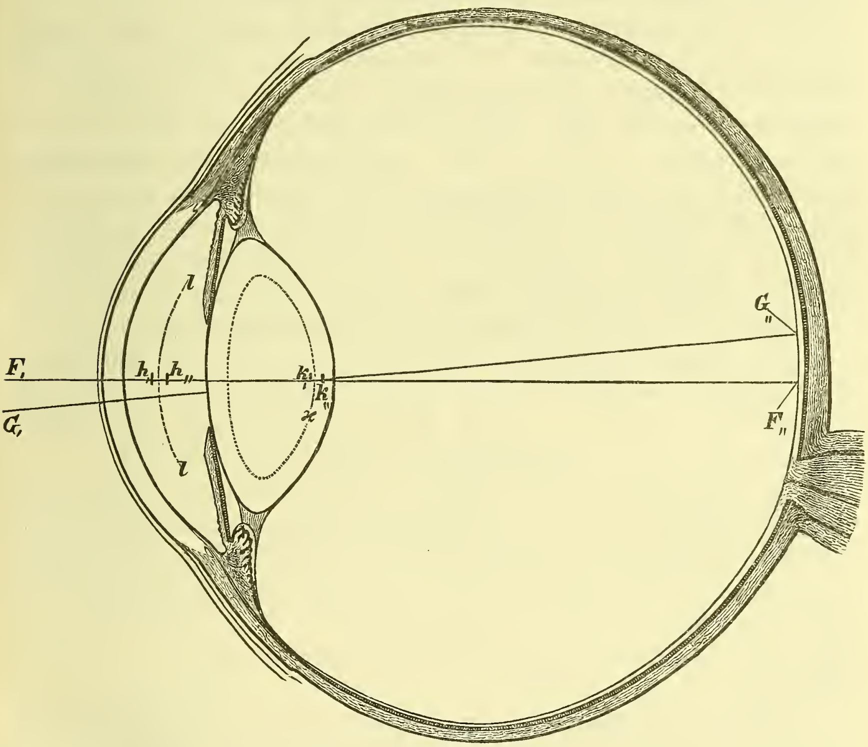


Fig. 23 (nach Helmholtz).

des reduzierten Auges durch die Linie *ll*, ihr Krümmungsmittelpunkt bei *x* angegeben.

Für unsere Betrachtungen genügen die von Donders vorgeschlagen abgerundeten Werte des **vereinfachten Auges**, wonach dessen Hornhaut einen Krümmungshalbmesser von 5 mm hätte, die hintere Hauptbrennweite 20 mm, die vordere 15 mm betragen würde.

B. Die optischen Bedingungen des Sehens.

Die optischen Bedingungen für ein möglichst deutliches Sehen sind erfüllt, wenn von Gegenständen der Außenwelt auf der physiologisch leistungsfähigsten Stelle der Netzhaut ein Beleuchtungsbild zu Stande kommt, dessen Deutlichkeit eine für die mögliche Feinheit der Wahrnehmung (die größtmögliche physiologische Leistungsfähigkeit des Auges) hinreichend genaue Reizabgrenzung in der Netzhaut bedingt.

Die physiologisch leistungsfähigste Netzhautstelle, der gelbe Fleck (Macula lutea) mit dem Netzhautgrübchen (Fovea centralis), liegt in der Regel etwas schläfenwärts vom Schnittpunkt der optischen Achse mit der Netzhaut; von der Beschaffenheit des Beleuchtungsbildes an dieser Stelle hängt zunächst die Deutlichkeit des Sehens ab. Das Beleuchtungsbild auf dem gelben Fleck kann nur dann vollkommen deutlich sein, wenn es zugleich optisches Bild ist (s. S. 33), also wenn das optische Bild eines Gegenstandes genau in die Netzhaut fällt; ist dies der Fall, so sagen wir, das Auge ist auf den Gegenstand optisch eingestellt.

Die optische Einstellung bezieht sich besonders auf den Punkt, dessen Bild in die Mitte der Fovea fällt; dieser Punkt wird direkt angesehen, fixiert, er heißt daher Fixierpunkt; sein Richtungsstrahl ist die Gesichtslinie (s. Fig. 23, Linie $G, G_{,,}$).

Ist das Auge auf einen Punkt eines körperlichen Gegenstandes eingestellt, so fällt dessen Beleuchtungsbild auf der Netzhaut nicht genau mit dem optischen Bild zusammen (s. S. 33); bei dem im Verhältnis zur Brennweite meist großen Objektabstand weicht aber das optische Bild nur wenig von einer ebenen Figur ab, das ganze Netzhautbild wird hinreichend scharf, da alle Zerstreuungskreise sehr klein bleiben.

Die optische Einstellung für verschiedene Objektabstände wird durch die von der Thätigkeit des Ciliarmuskels abhängige Veränderung der Brechkraft des Auges, die Akkommodation, bewirkt und als physiologische Leistung im zweiten Teil besprochen.

Ist das Auge für einen bestimmten Objektabstand nicht optisch eingestellt, so entsteht auf der Netzhaut ein Zerstreuungsbild, dessen Deutlichkeit vom Verhältnis der Größe der Zerstreuungskreise zur Bildgröße abhängt (s. S. 34f.). Die Zerstreuungskreise sind um so kleiner, je geringer der Abstand des optischen Bildes von der Netzhaut und je enger die Pupille ist.

Ferner wird das Netzhautbild undeutlich, wenn überhaupt kein genaues optisches Bild möglich ist, also wenn eine der brechenden Flächen des Auges nicht homozentrisch bricht, oder merkliche sphärische (oder überkorrigierte sphärische) Aberration vorliegt; wenn die Zentrierung des dioptrischen Systems zu fehlerhaft ist (eine genaue Zentrierung ist nach v. HELMHOLTZ meist nicht vorhanden); endlich wenn der Gang der Lichtstrahlen in den durchsichtigen Mitteln gestört wird (durch Trübungen oder Ungleichmäßigkeiten in der optischen Dichtigkeit). Chromatische Abweichung beeinträchtigt die Bilddeutlichkeit nur unter gewissen Bedingungen, die für unsere Zwecke nicht wichtig sind.

Alle Zerstreuungsbilder sind (unter sonst gleichen Umständen) um so deutlicher, je enger die Pupille (oder auch eine vor dem Auge angebrachte Blende) ist.

Für die physiologischen Leistungen der Netzhaut außerhalb des gelben Fleckes kommt die Deutlichkeit der Netzhautbilder nicht wesentlich in Betracht.

Die Abhängigkeit der physiologischen Leistungen des Auges von den optischen Bedingungen wird im zweiten Teil besprochen.

---

4. Die Brillengläser.

Zur Funktionsprüfung des Auges ist ein Brillenkasten mit entsprechender Auswahl von Brillengläsern unentbehrlich, er enthält als wichtigste optische Untersuchungsmittel Prismen und Linsen.

A. Prismen.

In der Optik versteht man unter Prisma einen von zwei gegeneinander geneigten Ebenen begrenzten durchsichtigen Körper; die übrige Begrenzung des Körpers ist im allgemeinen gleichgiltig. Der Winkel, unter dem die beiden Ebenen sich schneiden (in Wirklichkeit oder in ihrer gedachten Verlängerung), heißt Prismenwinkel oder Kantenwinkel oder brechender Winkel, die Schnittlinie selbst heißt Kante. Die Basis ist eine der Kante gegenüberliegende (wirklich vorhandene oder gedachte) Fläche.

Ein homozentrisches Strahlenbündel wird durch ein Prisma im allgemeinen astigmatisch gebrochen (die eine Brennlinie liegt senk-

recht, die andere parallel zur Prismenkante); unter der Voraussetzung aber, daß der Prismenwinkel klein ist, das Strahlenbündel einen sehr kleinen Öffnungswinkel hat und die beiden Prismenflächen nahe der Kante annähernd senkrecht trifft (was nur bei kleinem Kantenwinkel möglich ist), können wir das Strahlenbündel auch nach dem Durchgang durch das Prisma als homozentrisch ansehen.

Fig. 24 zeigt die Wirkung eines Prismas. ABC sei der senkrechte Durchschnitt durch ein Prisma von Glas mit dem Kanten-

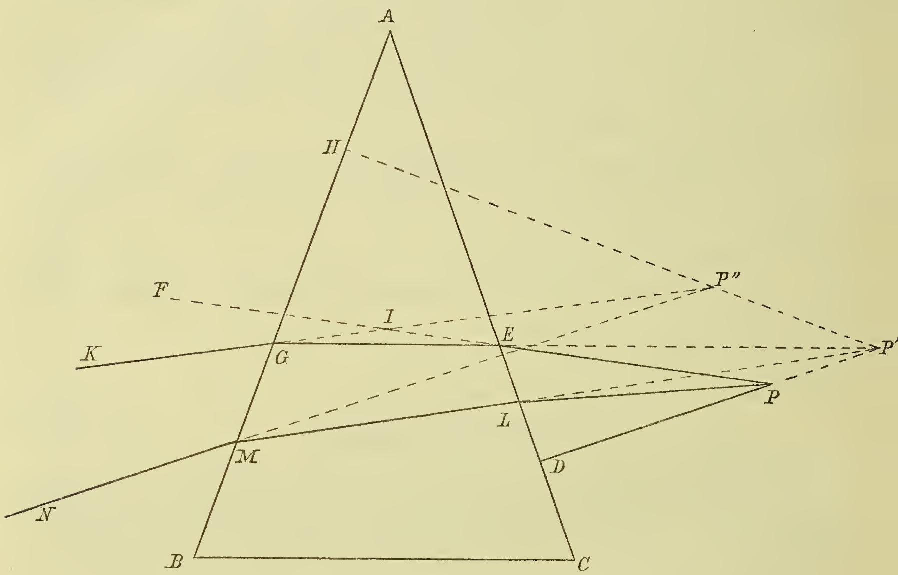


Fig. 24.

winkel bei A (dieser ist der Deutlichkeit der Zeichnung wegen verhältnismäßig groß gewählt). Von einem Punkt P treffe ein dünnes (durch eine Blende durchgelassenes) Strahlenbündel die Prismenfläche AC, seine Randstrahlen seien PE und PL; diese gehen im Prisma so weiter, als ob sie von P' herkämen, dem Bild von P für den Übergang des Strahlenbündels aus Luft durch die Fläche AC in Glas; P' liegt auf dem rückwärts verlängerten Lote PD, sein Abstand von der Fläche verhält sich zu dem des Punktes P wie die Brechungszahl des Glases zu der der Luft (s. S. 27). Die gebrochenen Strahlen treffen die zweite Prismenfläche in G und M und verlassen das Prisma so, als ob sie von P'', dem Bild von P' für den Übergang des

Strahlenbündelsaus dem Prisma in Luft, herkämen (P' ist „virtuelles Objekt“ für den Übergang der Strahlen aus dem Prisma in Luft, sein ebenfalls virtueller Bildpunkt P'' liegt auf dem Lot $P'H$, der Abstand des Bildpunktes P'' von der Fläche AB verhält sich zum Abstand des Objektpunktes P' wie die Brechungszahl der Luft zu der des Glases, also auch wie $PD:P'D$, man findet somit P'' nach Fällung des Lotes $P'H$ einfach, indem man $PP'' \parallel DH$ zieht).

Die von P ausgehenden Strahlen werden also durch das Prisma der Basis zu abgelenkt, d. h. sie haben nach dem Durchgang durch das Prisma eine Richtung, als ob sie von P'' herkämen; für ein links von unserem Prisma befindliches Auge erscheint somit der Punkt P nach der Kante des Prismas hin verschoben.

Die Ablenkung durch ein Prisma ist am geringsten für Lichtstrahlen, die symmetrisch durch das Prisma gehen, also gleiche Winkel mit den beiden Prismenflächen bilden (s. Fig. 25 Strahl $PEGK$, Winkel KIF ist der Ablenkungswinkel; für alle zu PE parallelen Strahlen ist die Ablenkung dieselbe).

Bezeichnen wir mit ϱ den Prismenwinkel, mit n das Brechungsverhältnis von Glas zu Luft, mit δ den Winkel der geringsten Ablenkung, so besteht (unter den gemachten Voraussetzungen) zwischen diesen Größen die Beziehung:

$$\delta = (n - 1)\varrho.$$

Ist z. B. $n = 1{,}5$, wie es bei den gebräuchlichen Prismen annähernd der Fall ist, so wird $\delta = \varrho/2$, die geringste Ablenkung beträgt dann also die Hälfte des Kantenwinkels.

Ist der Kantenwinkel $= o$, d. h. sind die beiden brechenden Flächen einander parallel, so ist auch die Ablenkung $= o$, bei einer dünnen planparallelen Platte findet keine Ablenkung statt (nur eine seitliche Verschiebung der Lichtstrahlen, die mit der Dicke der Platte wächst).

Wo es auf Maßbestimmungen mittels Prismen ankommt, halten wir diese stets so vor das Auge, daß nur die geringste Ablenkung in Betracht kommt. Dies ist hinreichend genau der Fall, wenn die dem Auge abgewandte Prismenfläche oder die den Prismenwinkel halbierende Ebene (streng genommen die den Winkel zwischen diesen beiden Flächen halbierende Ebene) senkrecht zur Gesichtslinie steht. Neigt man von dieser Stellung aus das Prisma vor- oder rückwärts, so nimmt die Verschiebung der Gegenstände zu, zugleich

erscheinen sie mehr und mehr verzerrt wegen der mit dem Einfallswinkel zunehmenden astigmatischen Wirkung des Prismas.

Die Farbenzerstreuung infolge der verschiedenen Brechbarkeit der Strahlen verschiedener Wellenlänge macht sich schon bei verhältnismäßig schwachen Prismen geltend, die Ränder heller Flächen erscheinen deshalb farbig. Die Verwendung der Prismen bei der Funktionsprüfung wird dadurch nicht erschwert.

Die Brillenkasten enthalten gewöhnlich Prismen von 1^0 bis 18^0 Kantenwinkel, nach diesem sind sie numeriert. Zur Verwendbarkeit in einer Probierbrille sind sie rund geschnitten; die Nummer steht an der Seite der Basis, ihr gegenüber an der Kante ist meist ein radiärer Strich senkrecht zur Kante angebracht, wodurch deren Lage leicht erkennbar ist.

Will man ein Prisma mit bestimmter Kantenlage, z. B. mit der Kante genau nach unten, vor das Auge bringen, so setzt man es nach ungefährer Schätzung in das Brillengestell und kontroliert die Kantenlage, indem man sich das Gestell unter Vermeidung jeder Neigung vor ein Auge hält und mit diesem durch das Prisma und über dem Prisma weg nach einer senkrechten Linie (Kante eines Möbels oder Fensterkreuzes u. s. w.) sieht; liegt die Prismenkante genau wagrecht, so erscheint die senkrechte Linie nicht unterbrochen, das durch das Prisma gesehene Stück ist nur in der Flucht der Linie selbst nach unten verschoben; liegt die Prismenkante nicht genau wagrecht, so erscheint ein Stück der senkrechten Linie durch das Prisma nach der Seite hin herausgebrochen, nach der die Kante abweicht, man dreht dann die Kante in entgegengesetzter Richtung, bis die Linie nicht mehr unterbrochen erscheint.

Ganz entsprechend kontroliert man die Kantenlage nach links oder rechts, indem man nach einer wagrechten Linie durch das Prisma sieht.

B. Linsen.

Linsen sind durchsichtige Körper, die von zwei gekrümmten Flächen oder von einer gekrümmten und einer ebenen Fläche begrenzt sind.

Der Brillenkasten enthält zwei Arten von Linsen: Linsen mit zwei Kugelflächen, oder sphärische Linsen, und Linsen mit zwei zylindrisch gekrümmten Flächen oder mit einer zylindrisch gekrümmten und einer ebenen Fläche: sog. Zylinderlinsen.

a) Sphärische Linsen.

Bei einer sphärischen Linse in Luft haben wir ein dioptrisches System von drei durchsichtigen Mitteln mit zwei homozentrisch brechenden Trennungsflächen, wobei das erste und letzte Mittel gleich sind; die vordere und hintere Brennweite einer Linse sind somit gleich (s. S. 32), eine solche Linse hat daher nur einerlei Brechkraft, gleichgiltig, ob die Strahlen von der einen oder von der andern Seite durchgehen; die Knotenpunkte fallen mit den Hauptpunkten zusammen.

Bei lichtsammelnden Linsen können beide Flächen konvex sein — bikonvexe Linsen —, oder eine Fläche konvex, die andere plan — plankonvexe Linsen —, oder eine Fläche konvex, die andere konkav, aber schwächer gekrümmt als die konvexe Fläche — konkavkonvexe Linsen oder positive Menisken (ihr Durchschnitt ist halbmondförmig, μηνίσκος, kleiner Mond). Alle drei Sorten sind in der Mitte dicker als am Rande.

Die Zerstreuungslinsen sind entweder bikonkav oder plankonkav oder konvexkonkav (negativer Meniskus); bei der letzten Art ist die konkave Fläche stärker gekrümmt (die Wirkung ist hier nur dann lichtzerstreuend, wenn die Differenz der Krümmungsradien beider Flächen größer ist, als ein Drittel der Linsendicke; dies ist bei den gebräuchlichen Linsen stets der Fall).

Die Linsen des Brillenkastens sind bikonkav und bikonvex.

Zu Brillengläsern werden auch Menisken verwendet, deren konkave Seite dem Auge zugekehrt wird. Das Auge sieht bei Blickwendungen durch die Randteile eines solchen Glases deutlicher, als durch die eines gleich starken bikonvexen oder bikonkaven Glases. Die durch die Randteile einer bikonvexen oder bikonkaven Linse in die Pupille dringenden Strahlenbündel treffen die vordere oder hintere Fläche dieser Linse unter sehr großen Einfallswinkeln und werden daher merklich astigmatisch gebrochen; durch einen Meniskus kann das Auge besser „umhersehen“, man nennt solche Gläser daher auch periskopische Gläser.

Die Lage der Knotenpunkte einer Linse können wir leicht finden. Die in der optischen Achse liegenden Halbmesser der Oberflächen einer bikonvexen oder bikonkaven Linse (Fig. 25 und 26) seien $C_1 S_1$ und $C_2 S_2$; ziehen wir von C_1 nach einem beliebigen Punkt D der zugehörigen Linsenfläche den Radius $C_1 D$, ferner von C_2 den Radius $C_2 E \parallel C_1 D$; die Linie ED schneidet die optische Achse in O. Betrachten wir O als leuchtenden Punkt, so bilden die Strahlen OE und OD mit den Einfallsloten gleiche Winkel, die

Brechungswinkel sind daher auch gleich, und somit sind die Strahlen nach ihrem Übergang in die Luft einander parallel. Da sie aus dem dichteren in das dünnere Mittel übergehen, werden sie vom Einfallslot weg gebrochen. Die Schnittpunkte dieser Strahlen (in

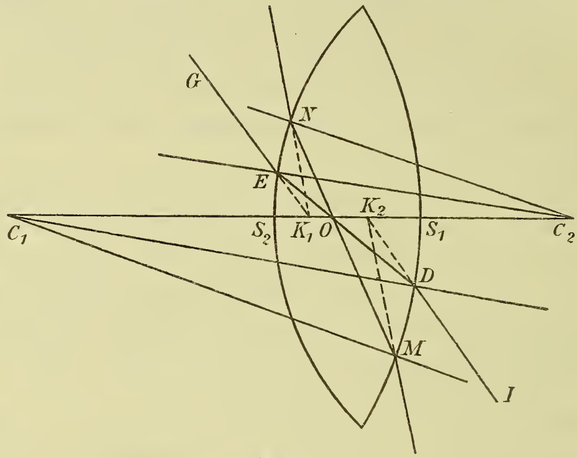


Fig. 25.

ihrer Verlängerung nach rückwärts) mit der optischen Achse, K_1 und K_2, sind die Knotenpunkte und zugleich die Hauptpunkte der Linse. Alle Strahlen, die vor der Linse nach K_1 gerichtet sind,

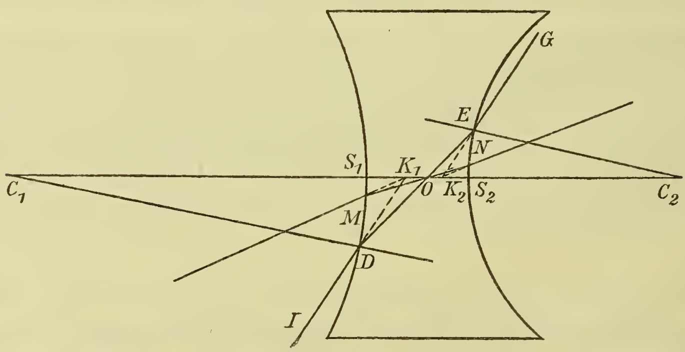


Fig. 26.

gehen hinter der Linse ihrer ursprünglichen Richtung parallel weiter, und zwar so, als ob sie von K_2 herkämen; in der Linse selbst gehen sie alle durch den Punkt O, dieser heißt der optische Mittelpunkt der Linse, er ist der innere Ähnlich-

keitspunkt der beiden Kugelflächen und liegt stets näher bei der stärker gekrümmten Fläche.

K_1 ist als Schnittpunkt des Achsenstrahles mit einem andern von O ausgehenden Strahl das durch die vordere Linsenfläche (als Trennungsfläche eines einfachen Systems) entworfene Bild von O, und K_2 ist das durch die hintere Linsenfläche entworfene Bild von O, somit ist für das ganze System (Linse mit umgebender Luft) K_2 das Bild von K_1 und umgekehrt, also alle Strahlen, die vor der Linse nach K_1 gerichtet sind, gehen in der Linse durch O und hinter der Linse (rückwärts verlängert) durch K_2. Jeder durch O gehende Strahl schneidet die beiden Linsenflächen so, daß die nach den Schnittpunkten gezogenen Kugelhalbmesser, d. h. die Einfallslote für diese Punkte, einander parallel sind. (Wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke EOC_2 und DOC_1 ist:

$$C_1 O : C_2 O = C_1 D : C_2 E = r_1 : r_2 ;$$

irgend eine andere gerade Linie durch O treffe die Kugelflächen in M und N, dann ist $C_1 O : C_2 O = r_1 : r_2 = C_1 M : C_2 N$, oder $C_1 O : C_1 M = C_2 O : C_2 N$, und ferner $\sphericalangle C_1 O M = \sphericalangle C_2 O N$, somit ist in den Dreiecken $C_1 OM$ und $C_2 ON$ das Verhältnis zweier Seiten, sowie der der größeren (Fig. 25) resp. kleineren (Fig. 26) Seite gegenüberliegende Winkel gleich, also sind diese Dreicke einander ähnlich. Daraus folgt: $\sphericalangle NMC_1 = \sphericalangle MNC_2$ und $C_2 N \parallel C_1 M$). Für jeden durch O gehenden Strahl sind daher die vor und hinter der Linse gelegenen Teile einander parallel, da sie gleiche Winkel mit den Einfallsloten bilden.

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $C_1 OM$ und $C_2 ON$ folgt ferner: $OM : ON = r_1 : r_2$, d. h. O teilt jeden Strahl innerhalb der Linsenflächen nach dem Verhältnis der Krümmungsradien, dies gilt auch für den Achsenstrahl, es ist daher auch $S_1 O : S_2 O = r_1 : r_2$.

Da unsere Linsen im allgemeinen so dünn sind, daß die Knotenpunkte sehr nahe bei einander liegen, können wir ohne merklichen Fehler die beiden Knotenpunkte durch den zwischen ihnen liegenden optischen Mittelpunkt ersetzen, und Strahlen, die vor der Linse gegen den optischen Mittelpunkt gerichtet sind, als ungebrochen durch die Linse gehend, also als Richtungsstrahlen, betrachten. Wir denken uns die Brechung durch eine Linse in einer die beiden Hauptebenen vertretenden Fläche konzentriert, die zugleich den optischen Mittelpunkt als den Vertreter beider Knotenpunkte enthält. Die geometrische Darstellung der Brechung durch eine Linse wird damit sehr einfach, diese entspricht ganz der Brechung an einer Kugelfläche, nur daß der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen in die brechende Fläche selbst fällt und die vordere und hintere Brennweite gleich sind; für die Wirkung der Linse ist es daher gleichgiltig, ob die Lichtstrahlen von der einen oder von der andern Seite durchgehen.

Fig. 27 zeigt das Verhalten zwischen Objekt und Bild bei stetig sich änderndem Objektabstand für eine Sammellinse mit den positiven Brennweiten OF_1 und OF_2.

Wandert das Objekt von ∞ bis in die vordere Hauptbrennebene, so wandert das reelle umgekehrte Bild von der hinteren Hauptbrennebene bis ∞ und wächst von Punktgröße zu unendlicher Größe. Rückt das Objekt von der vorderen Hauptbrennebene bis zur Linse, so wandert das virtuelle aufrechte Bild von rückwärts unendlich bis zur Linse und nimmt von unendlicher Größe ab bis zu Objektgröße, in der Linse fallen Objekt und Bild

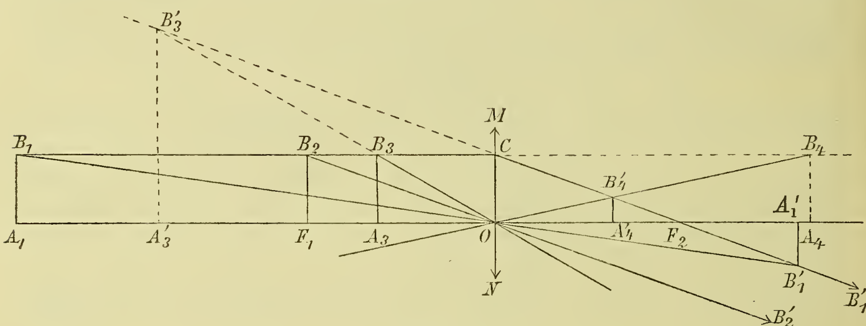


Fig. 27.

der Lage und Größe nach zusammen. Rückt das „virtuelle" Objekt jenseits der Linse (in „negativem Objektabstand") bis ∞, so wandert das aufrechte reelle Bild von der Linse bis zur hinteren Hauptbrennebene und nimmt von Objektgröße ab bis zu Punktgröße.

Fig. 28 zeigt das Verhalten zwischen Objekt und Bild bei einer Zerstreuungslinse mit den negativen Hauptbrennweiten OF_1 und OF_2.

Wandert das reelle Objekt von ∞ bis zur Linsenfläche, so wandert das virtuelle aufrechte Bild von der (rückwärts gelegenen) zweiten Hauptbrennebene bis zur Linse und wächst von Punktgröße bis zu Objektgröße. Rückt das „virtuelle" Objekt jenseits der Linse bis in die erste Hauptbrennebene, so wandert das reelle aufrechte Bild von der Linse bis ∞ und wächst von Objektgröße zu unendlicher Größe. Wandert das virtuelle Objekt von der ersten Hauptbrennebene jenseits der Linse weiter bis ∞, so wandert sein virtuelles umgekehrtes Bild von rückwärts Unendlich bis zur zweiten Hauptbrennebene und nimmt von unendlicher Größe ab bis zu Punktgröße.

Wir benennen die Linsen nach ihrer Brechkraft in Dioptrien (s. S. 32), und zwar positiv, wenn sie lichtsammelnd, negativ, wenn sie lichtzerstreuend sind; z. B. eine Linse mit positiver Brennweite von 25 cm (= $^1/_4$ m) bezeichnen wir mit + 4 D oder + 4,0, ihre

Brechkraft beträgt also 4 Dioptrien, d. h. das Vierfache der Einheitslinse (Meterlinse nach NAGEL), deren Brennweite = 1 m und deren Brechkraft 1 Dioptrie ist. Eine Linse mit negativer Brennweite von 20 cm bezeichnen wir mit -5 D oder $-5{,}0$, sie hat eine negative Brechkraft von 5 Dioptrien. Zwei Linsen von bestimmter Brechkraft, die dicht aneinander gelegt werden, können immer durch eine Linse ersetzt werden, deren Brechkraft gleich der Summe der Brechkräfte jener zwei Linsen ist; so ist die Gesamtwirkung einer Linse von $+2$ D und einer Linse von $+3$ D gleich der Wirkung einer Linse von $+5$ D; eine Linse von $+3$ D und eine Linse von -2 D wirken zusammen wie eine Linse von $+1$ D.

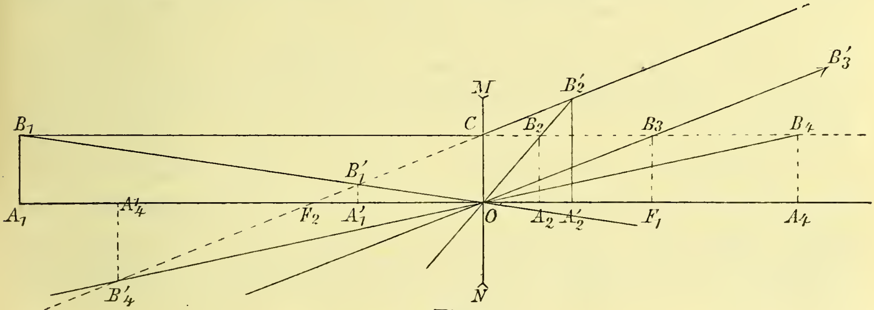


Fig. 28.

Zur feineren Abstufung, auf die es besonders bei den schwächeren Gläsern ankommt, gebraucht man noch halbe und Viertelsdioptrien, die durch Dezimalen ausgedrückt werden. Die schwächsten Gläser des Brillenkastens sind $+0{,}25$ und $-0{,}25$, sie haben eine positive und negative Brennweite von 4 m.

Früher bezeichnete man die Linsen nach dem im Zollmaß ausgedrückten Krümmungsradius der Linsenflächen, dessen Maß man zugleich als Maß der Brennweite gelten ließ. Bei symmetrischen Linsen, d. h. Linsen mit zwei gleichen Krümmungsflächen, ist die Brennweite zufällig genau gleich dem Krümmungshalbmesser der Flächen, wenn der Brechungsindex des Glases = 1,5. Zwischen den Radien einer Linse und deren Brennweite besteht die Beziehung:

$$\frac{1}{f} = (n - 1)\left\{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right\};$$

bei symmetrischen Linsen sind r_1 und r_2 gleich, wir können dann schreiben: $1/f = (n - 1)\cdot 2/r$; wenn also $n = 1{,}5$, so wird $1/f = 0{,}5 \cdot 2/r = 1/r$, d. h. $f = r$.

Der Brechungsindex des Glases ist aber gewöhnlich etwas größer als 1,5, die Brennweite daher in Wirklichkeit etwas kleiner als der Radius der Linsenflächen, so daß einer Brennweite von 1 m (= 38,2 preußischen = 37 Pariser Zoll) ziemlich genau ein Glas von 40″ (d. h. 40 Zoll) Krümmungsradius entspricht; das alte Glas Nr. 40 entspricht also der jetzigen Einheitslinse von 1 D. Nr. 20 nach Zollmaß hat die halbe Brennweite des Glases Nr. 40, also doppelt so große Brechkraft, d. h. 2 D; 16 im Zollmaß hat eine Brechkraft von

40 : 16 = 2,5 D, u. s. w. Wir erhalten also für ein nach Zollmaß bezeichnetes Glas seine Brechkraft in Dioptrien, wenn wir mit der Zollnummer in 40 dividieren; umgekehrt ist für ein Glas von x Dioptrien Brechkraft seine Brennweite im Zollmaß $= 40 : x$. Brüche, die sich bei der Umrechnung ergeben, werden immer auf Halbe oder Viertel abgerundet, die beim Dioptriensystem (Metersystem) in Dezimalbruchform, beim Zollsystem als gewöhnliche Brüche geschrieben werden; so unterscheiden sich die beiden Systeme schon durch die Schreibweise ohne besondere Benennung.

Als Einheit der Brechkraft diente beim Zollmaß die Brechkraft einer Linse von 1″ Brennweite; die Brechkraft eines Glases von ± 2, ± 3 u. s. w. war daher $= \pm {}^1/_2$, $\pm {}^1/_3$ u. s. w. Da für den augenärztlichen Gebrauch nur Linsen von größerer Brennweite als 1″ in Betracht kommen, war die Brechkraft der Linse stets durch Brüche auszudrücken; die Addition und Subtraktion von Brechkräften war daher für unsichere Kopfrechner etwas umständlich.

Bei den stärkeren Gläsern macht 1 Zoll Unterschied in der Brennweite schon einen verhältnismäßig großen Unterschied in der Brechkraft, zur feineren Abstufung werden daher bei den stärkeren Zollnummern Halbe und Viertel eingeschaltet.

Das Verhalten des Bildabstandes zum Objektabstand bei einer Linse von bestimmter Brechkraft, das oben geometrisch dargelegt wurde, läßt sich leicht auch auf dem Wege der Rechnung bestimmen. Die Gleichung für die Beziehung zwischen Objektabstand, Bildabstand und Hauptbrennweiten (s. S. 19, Gleichung 5 und S. 31) wird bei den Linsen sehr einfach, da hier die vordere und hintere Hauptbrennweite gleich sind; wir erhalten: $f : a + f : b = 1$, oder

$$1) \qquad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

damit ergiebt sich für den Bildabstand (vgl. Gleichung 6 S. 19):

$$2) \qquad b = \frac{a f}{a - f}.$$

Wenn b negativ wird, so liegt das Bild auf der Seite der Linse, von der die Lichtstrahlen herkommen. Dies ist z. B., wie auch unsere geometrische Betrachtung (s. S. 64) zeigte, bei Konvexlinsen der Fall, wenn das Objekt zwischen dem ersten Hauptbrennpunkt und der Linse liegt, wenn also $a > f$. Die Anwendung der Gleichung 2 möge ein Beispiel erläutern: Wo liegt bei einer Linse von + 4 D das optische Bild eines 20 cm von der Linse entfernten Gegenstandes? Hier ist der Objektabstand $a = 20$ cm, die Hauptbrennweite $f = 100 : 4 = 25$ cm, also der Bildabstand:

$$b = \frac{20 . 25}{20 - 25} = \frac{20 . 25}{-5} = -100 \text{ cm},$$

d. h. das Bild liegt in 1 cm Abstand von der Linse auf derselben Seite wie der Gegenstand.

Durch Einsetzen entsprechender Werte in die Gleichung 2 lassen sich leicht auch alle anderen oben geometrisch betrachteten Möglichkeiten ableiten. Man sieht leicht, daß bei Konkavlinsen für jeden positiven Objektabstand der Bildabstand negativ wird.

Die Bildgröße verhält sich zur Objektgröße wie der Bildabstand zum Objektabstand. Bezeichnen wir die Objektgröße mit $\mathfrak{A}$, die Bildgröße mit $\mathfrak{B}$, so ist $\mathfrak{B}:\mathfrak{A} = b:a$, also

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathfrak{A}\, b}{a}. \tag{3}$$

Das Bild ist aufrecht (gleichgerichtet mit dem Objekt), wenn es auf derselben Seite liegt, wie das Objekt; umgekehrt, wenn es auf der anderen Seite der Linse liegt.

Das Bild ist aufrecht, wenn $\mathfrak{B}$ negativ wird, umgekehrt, wenn $\mathfrak{B}$ positiv wird. Da wird den Bildabstand als positiv bezeichnen, wenn das Bild im letzten Mittel liegt, also reell ist, und als negativ, wenn es virtuell ist, so ergiebt sich aus der Rechnung die umgekehrte Bildlage als positiv, und die aufrechte als negativ. Die umgekehrte Bildlage als negativ zu bezeichnen, wie es vielfach geschieht, ist nur dann folgerichtig, wenn man für alle Abstände von der Linse (oder den Hauptebenen eines dioptrischen Systems), also für Objekt- und Bildabstand — und damit auch für die Hauptbrennweiten — die eine Seite, aus der die Lichtstrahlen kommen, als positiv, die andere Seite als negativ bezeichnet; bei dieser Bezeichnungsweise hat aber jedes dioptrische System eine positive und eine negative Brennweite, man kann dann nicht mehr lichtzerstreuende Systeme als Systeme mit „negativen Hauptbrennweiten" bezeichnen. Mit dieser Abweichung von dem in der Ophthalmologie bisher üblichen Sprachgebrauch würde man aber unnötige Verwirrung anrichten.

b) Zylinderlinsen.

Zylinderlinsen sind Linsen mit einer oder zwei zylindrischen Flächen. Ihre Einführung verdanken wir Donders.

Einfach zylindrische Gläser: Die zylindrischen Linsen des Brillenkastens sind entweder von einer zylindrischen und einer ebenen Fläche begrenzt (planzylindrische Linsen) oder von zwei symmetrischen Zylinderflächen; diese können stets durch eine Linse der ersten Art ersetzt werden, deren zylindrische Fläche einen halb so großen Krümmungsradius (doppelt so starke Krümmung) hat, wir können unsere Betrachtung daher zunächst auf Linsen mit einer Zylinderfläche beschränken. Solche Linsen nennt man kurz Konvexzylinder oder Konkavzylinder, je nachdem die Zylinderfläche konvex oder konkav ist (s. Fig. 29 und 30).

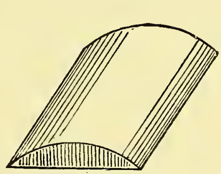


Fig. 29.

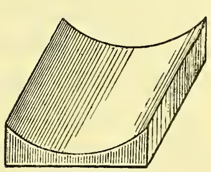


Fig. 30.

Die Zylinderlinsen wirken astigmatisch; der eine Hauptschnitt schneidet die Zylinderfläche in einer geraden Linie (Mantellinie), die man als Zylinderachse der Linse bezeichnet (sie ist parallel

der Achse des Zylinders, von dessen Oberfläche die zylindrische Linsenfläche einen Teil bildet, und nicht mit der optischen Achse zu verwechseln), der andere Hauptschnitt liegt rechtwinklig zur Zylinderachse, er enthält den Meridian stärkster Krümmung und somit stärkster (positiver oder negativer) Brechkraft, nach seiner Brechkraft wird die Brechkraft der Zylinderlinse benannt. Der die Zylinderachse enthaltende Hauptschnitt schneidet die Linse in zwei parallelen Linien, ein in diesem Hauptschnitt liegendes Strahlenbüschel wird daher (wie ein durch eine planparallele Platte gehendes Büschel) nicht abgelenkt, seine Brechkraft ist $=0$. Mit einer Zylinderlinse kann man daher ein astigmatisches System zu einem homozentrisch brechenden System machen, indem man die Brechkraft des einen Hauptmeridians um die Brechkraft einer ausgleichenden Zylinderlinse vermehrt oder vermindert, während die Brechkraft des anderen Hauptmeridians unverändert bleibt. Der stärkstbrechende Meridian der Zylinderlinse muß dabei in den Hauptschnitt des astigmatischen Systems fallen, dessen Brechkraft verändert werden soll, oder, was dasselbe bedeutet, die **Achse** der Zylinderlinse (d. h. die Zylinderachse), muß **rechtwinklig zu dem zu korrigierenden Hauptmeridian** des astigmatischen Systems liegen. (Beispiele siehe im zweiten Teile beim Astigmatismus des Auges.) Die Stellung eines Zylinderglases wird allgemein nach der Lage der Zylinderachse bezeichnet, diese ist durch zwei einander diametral gegenüberliegende kleine Striche am Rande der Linse gekennzeichnet.

Für Zylinderlinsen gebraucht man die Abkürzung cyl (oder auch *c*), die Lage der Zylinderachse wird durch die Abkürzung *A* hor (*A* —) oder *A* vert (*A* |) angegeben (das *A* wird oft auch weggelassen); z. B. cyl + 2,0 *A* | oder cyl + 2,0 *A* vert bedeutet einen Konvexzylinder von 2 D mit vertikaler Achse.

Bei anderer als vertikaler oder horizontaler Lage der Achse bezeichnet man die Gradabweichung des einen (oberen oder unteren, äußeren oder inneren) Endes die Achse von der vertikalen (horizontalen) Lage nach innen oder außen (oben oder unten); zur Messung der Abweichung dient ein mit Gradbogen versehenes Brillengestell. Eine einheitliche Bezeichnungsweise ist noch nicht durchgeführt.

Einfache Zylinderlinsen wirken wie eine Zylinderfläche bei einem einfachen System (s. S. 43), nur liegt der optische Mittelpunkt des stärkstbrechenden Meridians in der zylindrischen Fläche selbst, und im geradlinigen Hauptmeridian (Zylinderachse) erleiden auch Strahlenbüschel eines beliebigen, nicht unendlich fernen, Punktes keine Brechung (vgl. S. 44).

Bizylindrische Linsen haben zwei Zylinderflächen mit rechtwinklig zu einander liegenden Achsen. Für uns kommen nur

bizylindrische Linsen in Betracht, bei denen die eine Fläche konvev, die andere konkav ist; sie stellen also eine Kombination einer plankonvexen und einer plankonkaven Zylinderlinse mit rechtwinkliger Kreuzung der Achsen dar, und dementsprechend werden sie auch bezeichnet, indem man die Brechkraft und die Achsenlage jeder Fläche angiebt und dazwischen das Verbindungszeichen ⌈ oder ⊂⊃ setzt: cyl + 2,0 *A* vert ⌈ cyl — 1,0 *A* hor bedeutet also eine bizylindrische Linse (oder zwei einfach zylindrische Linsen) mit einer Brechkraft von **+ 2 D** im horizontalen Hauptmeridian (die Zylinderachse der konvexen Fläche liegt vertikal) und von **— 1 D** im vertikalen Hauptmeridian (die Achse der konkaven Fläche liegt horizontal). Der Unterschied der Brechkraft beider Hauptmeridiane, d. h. der Grad des Astigmatismus der Linse, ist = + 2 — (— 1) = 3 D.

Die optische Wirkung entspricht der eines einfachen gemischt astigmatischen Systems (s. S. 42), nur liegen die optischen Mittelpunkte (Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen) der Hauptschnitte in den brechenden Flächen selbst.

Sphärisch-zylindrische Linsen werden oft zu Brillengläsern verwendet, die eine Fläche ist sphärisch, die andere zylindrisch.

Sind beide Flächen konvex oder beide konkav, so sind beide Hauptschnitte lichtsammelnd oder beide lichtzerstreuend, der schwächstbrechende Hauptschnitt enthält die Achse der Zylinderfläche. Ein solches System wirkt wie die Kombination einer sphärischen mit einer einfach zylindrischen Linse und wird so auch bezeichnet: sph + 2,0 ⊂⊃ cyl + 3,0 *A* — bedeutet also eine sphärisch-zylindrische Linse, deren sphärische Fläche eine Brechkraft von + 2 D, und deren zylindrische Fläche eine Brechkraft von + 3 D hat bei horizontaler Achsenlage. Der Unterschied der Brechkraft beider Hauptmeridiane (der Grad des Astigmatismus) ist direkt durch die Brechkraft der zylindrischen Fläche ausgedrückt; die Brechkraft des horizontalen Hauptmeridians beträgt + 2 D (sie hängt nur von der sphärischen Fläche ab), die des vertikalen beträgt + 5 D (= 2 D + 3 D). Ganz entsprechend ist sph — 2,0 ⊂⊃ cyl — 3,0 *A* | ein System mit negativer Brechkraft von 5 D (also — 20 cm Brennweite) im horizontalen, und 2 D (— 50 cm Brennweite) im vertikalen Hauptmeridian (der die Zylinderachse enthält).

Ist die eine Fläche konvex, die andere konkav, so kann das astigmatische System lichtsammelnd oder lichtzerstreuend oder gemischt sein (s. S. 42); nur der letzte Fall ist praktisch wichtig, er liegt vor, wenn die zylindrische Fläche stärker gekrümmt ist, als die shpärische: sph + 2,0 ⊂⊃ cyl — 3,0 *A* hor bedeutet eine Linse mit

einer Brechkraft der sphärischen Fläche von +2 D und der zylindrischen von −3 D bei horizontaler Achsenlage; die Brechkraft des horizontalen Hauptmeridians beträgt +2 D, die des vertikalen −1 D (+2 − 3 = −1), das entspricht also einer bizylindrischen Linse oder der Kombination einer konkaven und einer konvexen Zylinderfläche mit gekreuzten Achsen: cyl + 2,0 *A* vert ⌈ cyl − 1,0 *A* hor. Dieselbe Wirkung kann auch erreicht werden durch cyl + 3,0 *A* vert ⊂ sph − 1,0, denn bei dieser Kombination hat auch wieder der horizontale Meridian eine Brechkraft von + 2 D (3,0—1,0), der vertikale eine Brechkraft von − 1 D, somit sind die drei Kombinationen:

I. sph + 2,0 ⊂ cyl − 3,0 *A* hor;
II. cyl + 2,0 *A* vert ⌈ cyl − 1,0 *A* hor;
III. cyl + 3,0 *A* vert ⊂ sph − 1,0

dioptrisch gleichwertig.

Man kann also eine bizylindrische Linse (Kombination II) durch eine sphärisch-zylindrische Linse ersetzen, indem man entweder die konvexe Zylinderfläche durch eine sphärische Fläche von gleicher Brechkraft, und die konkave Zylinderfläche durch einen dem Grad des Astigmatismus entsprechenden Konkavzylinder ersetzt (Kombination I), oder indem man umgekehrt die konkave Zylinderfläche durch eine sphärische Fläche von gleicher Brechkraft und die konvexe Zylinderfläche durch einen dem Grad des Astigmatismus entsprechenden Konvexzylinder ersetzt (Kombination III).

Ein sphärisch-zylindrisches Glas ist einfacher und daher billiger herzustellen als ein byzylindrisches (bei dem der Schleifer darauf achten muß, daß die Zylinderachsen genau rechtwinklig zu einander zu liegen kommen), und ist deshalb bei Brillenverordnungen vorzuziehen. Man wählt gewöhnlich die Kombination mit der schwächeren sphärischen Fläche (um das Glas möglichst dünn zu machen), in dem oben gewählten Beispiel also Kombination III.

Die Wirkung der Zylinderlinsen läßt sich auch durch periskopische Gläser erreichen, deren vordere Fläche sphärisch konvex, und deren hintere, dem Auge zugekehrte Fläche konkav-torisch (mit zwei konkaven Hauptmeridianen verschiedener Krümmung) geschliffen wird, solche Linsen bezeichnet man (im engeren Sinn) als torische Gläser, sie sollen als Brillengläser oft angenehmer sein als Zylindergläser (Javal, Pflüger). Die einzelnen Hauptschnitte haben positive oder negative Brechkraft, je nachdem sie konkavkonvex oder konvexkonkav sind. Ein torisches Glas mit der Wirkung des einfachen Zylinders bezeichnet man als einfaches torisches Glas (in dem Hauptmeridian, der der Zylinderachse entspricht, sind die Krümmungsradien der konvexen und der konkaven Fläche gleich, der andere Hauptmeridian ist lichtsammelnd oder lichtzerstreuend); ein torisches Glas mit der Wirkung einer sphärisch-zylindrischen Linse heißt sphärisch-torisches Glas (es kann positiv, negativ oder gemischt sein). Torische Gläser sind erheblich teurer als zylindrische.

Eine sphärisch-zylindrische Linse wirkt (unter der Voraussetzung, daß sie sehr dünn ist) wie ein einfaches astigmatisches System (s. S. 37 ff.),

nur liegen die Knotenpunkte der Hauptschnitte in der Linse selbst und die vorderen Hauptbrennweiten sind gleich den hinteren.

Mit der Kombination eines sphärischen und zylindrischen Konvexglases kann man in sehr einfacher Weise den Strahlengang bei einem lichtsammelnden astigmatischen System anschaulich machen. Man bohrt in ein Pappstück von der Größe und Form einer Linse des Brillenkastens 9 Löcher in quadratischer Anordnung und hält es mit einer sphärisch-zylindrischen Kombination, beispielsweise sph + 5,0 ⌓ cyl + 3,0 *A* hor, in etwa 6 m Abstand von einer hellen Flamme (im Dunkelzimmer) dicht vor ein weißes Blatt als auffangenden Schirm; man kann die durch die Löcher gehenden dünnen Strahlenbündel gewissermaßen als dicke Lichtstrahlen betrachten und das auf dem Schirm entstehende Beleuchtungsbild der Flamme beobachten, während man das Blatt immer weiter von den Gläsern abrückt. Das Beleuchtungsbild entspricht ganz den Querschnitten der Fig. *B* auf Tafel I und der Beschreibung auf S. 45 ff.; liegt der Schirm in der ersten hinteren Hauptbrennebene, also 12,5 cm von den Gläsern[1] (Brechkraft des vertikalen Hauptmeridians = 5 + 3 = 8 *D*, also Brennweite 12,5 cm), so bilden die drei vertikalen Strahlenbüschel drei horizontal nebeneinander liegende Lichtpunkte, die den Punkten 1 Q_1 3 der Figur entsprechen (nimmt man das Pappstück von den Gläsern weg, so sieht man die ganze horizontale Brennlinie); in der zweiten hinteren Hauptbrennebene, 20 cm hinter den Gläsern (Brechkraft des horizontalen Hauptmeridians 5 *D*), sieht man die 3 vertikal angeordneten Vereinigungspunkte $A\,Q_2\,C$ der ursprünglich horizontalen und in der ersten Brennlinie sich kreuzenden Strahlenbüschel (verdeckt man die oberste horizontale Reihe der Papplöcher, so verschwindet der unterste Lichtpunkt auf dem Schirm; nimmt man das Pappstück weg, so erscheint die ganze vertikale Brennlinie); an dem Ort der Brennstrecke, wo man 9 quadratisch (wie die Papplöcher) angeordnete Beleuchtungspunkte sieht, liegt der Brennkreis, bei Wegnahme der Pappe sieht man ein kreisförmiges Beleuchtungsbild (Zerstreuungskreis) der Flamme.

C. Untersuchung von Brillengläsern.

Die einfachste und sicherste Methode, die Art und Stärke eines Brillenglases optisch genau zu bestimmen, beruht auf folgenden Thatsachen:

1. Durch ein prismatisches Glas gesehene Gegenstände erscheinen nach der Prismenkante zu verschoben (s. S. 59).

2. Sehen wir exzentrisch durch ein sphärisches Konvex- oder Konkavglas, so erleiden die Gegenstände eine prismatische Ablenkung, und zwar bei Konvexgläsern nach dem Rand, bei Konkavgläsern nach der Mitte der Linse hin.

Halten wir z. B. ein Konvexglas mit seiner oberen Hälfte vor das Auge, so wird der Achsenstrahl eines oberhalb der Linsenmitte durch das Glas in die Pupille eindringenden Strahlenbündels so gebrochen, wie wenn er

---

[1] Bei dem großen Abstand der Flamme können wir diese als (etwas groben) leuchtenden Punkt und die ihr zugeordneten Brennlinien als mit den Hauptbrennlinien des Systems zusammenfallend betrachten.

durch ein Prisma mit Kante oben gegangen wäre, denn die Tangentialebenen seiner Schnittpunkte mit den Linsenflächen bilden ein Prisma mit der Kante nach oben, und zwar ist der Kantenwinkel dieses Prismas um so größer, je näher dem Linsenrande der Strahl durchgeht; die Verschiebung eines Gegenstandes erscheint daher um so größer, je näher dem Rand man durchsieht. Bewegt man das Glas vor dem Auge auf und ab, so machen die Gegenstände eine der Glasbewegung entgegengesetzte („gegenläufige") Scheinbewegung.

Ein Konkavglas dagegen lenkt ein exzentrisch durchgehendes Strahlenbündel im Sinne eines Prismas ab, dessen Kante der Linsenmitte zu liegt, also durch die obere Hälfte eines Konkavglases erscheinen die Gegenstände nach unten verschoben, also in derselben Richtung, in der das Glas selbst vor dem Auge verschoben ist. Auch hier ist die prismatische Ablenkung um so größer, je näher dem Linsenrand man durchsieht. Bewegt man ein Konkavglas auf und ab oder hin und her, so bewegen sich die Gegenstände in gleicher Richtung („gleichsinnig").

Die Deutlichkeit der Scheinbewegung wächst mit dem Abstand des Glases vom Auge und mit der Brechkraft des Glases; bei Konvexgläsern ist durch ihre Brennweite eine Grenze für den Abstand gegeben, da bei noch größerem Abstand umgekehrte Bilder zwischen Linse und Auge entstehen (die sich gleichsinnig mit der Linse bewegen).

3. Rollt man ein Zylinderglas vor dem Auge um die optische Achse hin und her, so machen gerade Linien Scheindrehungen, und zwar drehen sich Linien, die rechtwinklig zu einander liegen, entgegengesetzt, so daß ein rechter Winkel (Fensterkreuz, Bilderrahmen u. s. w.) mit den Drehungen des Glases bald spitzer bald stumpfer erscheint, er erscheint nur dann genau rechtwinklig, wenn seine Schenkel in die Hauptmeridianebenen der Linse fallen. Die Scheindrehungen sind um so deutlicher, je weiter man das Glas vom Auge abrückt (bei starken Konvexzylindern erscheinen bei zu großem Abstand vom Auge umgekehrte Bilder, die sich doppelt so schnell drehen als das Glas). Auf die Erklärung dieser Erscheinungen kann hier nicht eingegangen werden.

Auf Grund dieser Thatsachen ist die Untersuchung eines Brillenglases sehr einfach:

Man bewegt zuerst das Glas vor dem Auge hin und her, sowie auf und ab; treten dabei keine Scheinbewegungen auf, so ist das Glas weder sphärisch noch zylindrisch, es kann höchstens noch prismatisch sein; ist es prismatisch, so erscheinen die Gegenstände verschoben, die Richtung der Verschiebung zeigt, wo die Kante liegt (bei den geradlinigen Glasbewegungen ändert sich die prismatische Ablenkung nicht, bei Rollungen dagegen geht sie immer mit der Kante; die Gegenstände bleiben dabei stets ihrer wirklichen Lage parallel, sie machen keine Winkeldrehungen). Will man die Kanten-

lage genau feststellen, so dreht man das Glas, während man nach zwei rechtwinklig zu einander liegenden Linien sieht, bis die eine dieser Linien nicht mehr durch das Prisma gebrochen erscheint (indem sie genau in sich selbst verschoben wird, vgl. S. 60), dann liegt die Kante genau rechtwinklig zu dieser Linie. Zur Bestimmung des Kantenwinkels sucht man das Prisma des Brillenkastens, das, mit entgegengesetzter Kantenlage an das Glas gelegt, auch die andere, (parallel zur Kante liegende) Linie fortlaufend erscheinen läßt.

Nicht anwendbar ist diese Prüfungsmethode bei den sog. Isometrope-Gläsern, die einen stärkeren Brechungsindex und daher schwächere Krümmung haben als ein gewöhnliches Glas mit gleicher Brechkraft. Bei solchen Linsen nimmt die prismatische Ablenkung vom Zentrum nach dem Rande in geringerem Maße zu, als bei gewöhnlichen Gläsern gleicher Brechkraft, die Scheinbewegungen beim Auf- und Abbewegen eines solchen Glases werden daher durch ein etwas schwächeres Glas gewöhnlicher Art neutralisiert. Man verfährt hier am besten nach dem Prinzip der Refraktionsbestimmung, indem das schwächste Konkav- resp. stärkste Konvexglas, welches vor das zu prüfende Brillenglas gesetzt, die Sehschärfe für die Ferne nicht verschlechtert (s. zweiter Teil, S. 151); der Untersuchende muß dabei emmetropisch sein oder sich durch Korrektion emmetropisch machen.

Erfolgen bei den Glasbewegungen Scheinbewegungen der Gegenstände, so prüft man zunächst, ob durch Rollung um die optische Achse auch Scheindrehungen gerader Linien (Größenschwankungen rechter Winkel) bewirkt werden; ist dies nicht der Fall, so sind Zylinderflächen ausgeschlossen. Bei gleichsinnigen Scheinbewegungen liegt ein Konkavglas vor, man sucht dann das Konvexglas des Brillenkastens, das an das Brillenglas gelegt die Scheinbewegungen zum Verschwinden bringt (oder wenigstens am geringsten erscheinen läßt, falls kein genau ausgleichendes Glas gefunden wird); der positiven Brechkraft dieses Konvexglases entspricht die negative Brechkraft des Brillenglases.

Ganz entsprechend sucht man das ausgleichende Konkavglas, wenn die Scheinbewegung „gegenläufig" ist, also ein Konvexglas vorliegt.

Erfolgen bei der Rollung des Glases Scheindrehungen (Winkelschwankungen), so enthält das Glas eine zylindrische (oder torische) Fläche. Man hält nun das Glas zunächst so, daß vertikale und horizontale Linien genau vertikal und horizontal erscheinen (also die Hauptmeridiane des Glases horizontal und vertikal liegen), und bewegt das Glas vertikal und horizontal; finden nur bei einer, z. B. bei vertikaler, Bewegungsrichtung Scheinbewegungen statt, bei horizontaler Bewegung nicht, so ist der horizontale Meridian

die Achse eines einfachen Zylinderglases; die Brechkraft des vertikalen Meridians wird dann mit einem sphärischen oder zylindrischen Glas (mit horizontaler Achse) durch vertikale Bewegungen genau so bestimmt, wie die Brechkraft eines sphärischen Glases. Treten bei vertikaler und horizontaler Glasbewegung Scheinbewegungen auf, so sind beide Hauptmeridiane gekrümmt, und es wird die Brechkraft jedes Hauptmeridianes für sich bestimmt.

Sind beide Hauptmeridiane positiv oder beide negativ, so haben wir eine sphärisch-zylindrische Linse, deren sphärische Fläche die Brechkraft des schwächeren Meridians hat, und deren zylindrische Fläche dem Unterschied der Brechkraft beider Hauptmeridiane entspricht; ist ein Hauptmeridian positiv, der andere negativ, so liegt eine bizylindrische Linse vor, oder eine ihr gleichwertige sphärisch-zylindrische Linse (s. S. 69).

Will man sich überzeugen, ob mit einem sphärischen oder zylindrischen Glas noch ein Prisma kombiniert ist, so hält man es mit dem vertikalen Meridian (der Halbierungslinie des Glases) genau vor eine vertikale Linie (da Prismen in der Regel mit der Kante nach außen oder innen verordnet werden); erscheint die Linie durch das Glas verschoben (nicht in einer Flucht fortlaufend), so enthält das Glas ein Prisma mit der Kante nach der Seite der Ablenkung.

Ergänzung zu S. 19 nach Gleichung 7):

Für manche Betrachtungen ist es bequemer, das Verhältnis zwischen Objekt- und Bildlage nach ihren Abständen vom vorderen und hinteren Hauptbrennpunkt des Systems darzustellen. Bezeichnen wir den Abstand des Objektpunktes, z. B. des Punktes A in Fig. 7 (S. 18), vom vorderen Hauptbrennpunkt F_1 mit φ_1, den Abstand des zugehörigen Bildpunktes A' von F_2 mit φ_2, so können wir in Gleichung 7) die Größe a ($= AS$) durch $\varphi_1 + f_1$, die Größe b ($= SA'$) durch $\varphi_2 + f_2$ ersetzen, dann erhalten wir

$$\varphi_1 + f_1 = \frac{(\varphi_2 + f_2) f_1}{\varphi_2}\,,$$

daraus ergibt sich

8) $$\varphi_1 \varphi_2 = f_1 f_2$$

oder

8a) $$\varphi_1 = \frac{f_1 f_2}{\varphi_2}\,.$$

Zweiter Teil.

Die Funktionsprüfung des Auges.

Unter der Funktionsprüfung des Auges verstehen wir die Prüfung aller der **Sehthätigkeit** dienenden Leistungen des Sehorgans und ihrer Störungen. Wir können diese Leistungen einteilen in: Leistungen der Wahrnehmung (einschließlich der Leistungen des Akkommodationsapparates als Werkzeug für die optische Einstellung des Auges), Leistungen des Blendenapparates (Pupillenbewegung), und Leistungen des Bewegungsapparates des Sehorgans. Danach gliedern wir die Funktionsprüfungen in drei Hauptabschnitte.

Erster Hauptabschnitt. Leistungen der Wahrnehmung.

Die Wahrnehmungsleistungen beziehen sich auf die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden, Farbenunterschieden und räumlichen Verhältnissen, was wir kurz als Lichtsinn, Farbensinn und Raumsinn bezeichnen. Wir beurteilen diese Leistungen erstens nach dem Grad ihrer Ausbildung, also nach ihrer Feinheit, zweitens nach ihrer Verteilung im Gesichtsfeld, dazu kommt als drittes ihre Verwertung durch das Sehgedächtnis, das sind die erkennenden Wahrnehmungen oder die mit der Vorstellung der Bedeutung des Gesehenen verbundenen Wahrnehmungen. Die Prüfung der Wahrnehmungsleistungen geht am besten von deren Beurteilung nach den genannten drei Gesichtspunkten aus und berücksichtigt unter diesen für sich die einzelnen Qualitäten der Wahrnehmung. Dementsprechend gliedern wir auch unsere Betrachtungen.

I. Kapitel. Feinheit der Wahrnehmungsleistungen.

A. Der Raumsinn.

Wir besprechen zuerst den Raumsinn als die für die Prüfung wichtigste Leistung; er setzt eine gewisse Leistungsfähigkeit des Lichtsinnes voraus, kann aber bei mäßiger Störung des letzteren normal sein (wenigstens bei bestimmten Beleuchtungsverhältnissen) und anderseits ohne nachweisbare Lichtsinnstörung auch bei normalen optischen Verhältnissen geschädigt sein. Vom Farbensinn ist der Raumsinn nur bedingt abhängig, er kann selbst bei völlig fehlendem Farbensinn für farblose Wahrnehmungen normal sein.

Für eine der drei Raumdimensionen, die Tiefendimension (Frontalabstand), erreicht die Raumwahrnehmung nur durch das Zusammenwirken beider Augen ihre möglichste Vollkommenheit. Diese Leistung wird in einem besonderen Abschnitt besprochen (s. S. 154, Tiefenwahrnehmung). Für die beiden anderen, zur binocularen Blickrichtung senkrechten Dimensionen, die Breiten- und Höhendimension, ist die Leistung jedes einzelnen Auges normaler Weise ebenso vollkommen, wie die Leistung beider Augen zusammen; die Feinheit der Raumunterscheidung in der Breiten- und Höhendimension nennen wir **Sehschärfe.** Die Tiefenwahrnehmung des Einzelauges wird dagegen nur durch Mitwirkung der Erinnerungsthätigkeit auf Grund der Seh-Erfahrung ermöglicht, wobei vor allem die durch Stellungsänderungen des Kopfes bewirkten perspectivischen Lageänderungen der „Sehdinge“ — Parallaxe — eine Rolle spielen; sie bleibt sowohl an Bestimmtheit wie besonders auch an Genauigkeit erheblich hinter der zweiäugigen Tiefenwahrnehmung zurück (s. III. Kapitel). Die einäugige Tiefenwahrnehmung ist bis jetzt noch nicht Gegenstand der augenärztlichen Prüfung geworden, obwohl sie praktisch wichtig ist, indem von der Höhe ihrer Entwickelung z. B. die Erwerbsfähigkeit monokular Sehender wesentlich abhängt.

AA. Der Raumsinn in der Breiten- und Höhendimension:
Die Sehschärfe.

1. Maß der Sehschärfe.

Als Maßstab für die Sehschärfe dient gewöhnlich der kleinste Distinktionswinkel, d. h. der kleinste Gesichtswinkel, unter

dem zwei gegen ihre Umgebung genügend kontrastierende Punkte (oder parallele Linien) noch getrennt wahrgenommen werden. Je kleiner dieser Gesichtswinkel, um so größer ist die Sehschärfe. Der Gesichtswinkel ist der Winkel, den die von beiden Punkten durch den Knotenpunkt des Auges gehenden Richtungsstrahlen miteinander bilden (s. I. Teil S. 55). Da zwei Punkte in verschiedener Richtung vom Auge aus gesehen werden, kann ihre Wahrnehmung auch als Feinheit der Richtungsunterscheidung bezeichnet werden (Straub).

Man kann auch den Gesichtswinkel des kleinsten wahrnehmbaren Punktes (d. h. seines Durchmessers) bei genügend starkem (aber auch nicht zu starkem) Kontrast des Punktes gegen den Grund zur Sehschärfemessung benutzen (mit sehr hellen Punkten auf dunklem Grund oder dunklen Punkten auf sehr hellem Grund ist dies wegen der Ausstrahlung des starken Netzhautreizes auf die Umgebung nicht angängig). Die auf diese Weise gemessene Sehschärfe wird als „Punktsehschärfe“ bezeichnet. Diese Messung ist, wie Guillery gezeigt hat, auch weit mehr vom Raumsinn als vom Lichtsinn abhängig und deshalb ebenfalls als Maß für den Raumsinn verwendbar. Auch diese Methode hat für gewisse Zwecke ihre Vorteile (s. Gesichtsfeldprüfung).

Die Sehschärfe ist für verschiedene Teile des Gesichtsfeldes verschieden; am größten ist sie in der Richtung der Gesichtslinie innerhalb eines sehr kleinen, ziemlich genau kreisrunden Bezirks, dessen Zentrum wir den Fixationspunkt oder Fixierpunkt nennen (vgl. I. Teil S. 56); dieser bildet sozusagen den Koordinatenmittelpunkt für die zweidimensionale Raumeinteilung. Die Sehschärfe in der Gegend des Fixierpunktes giebt daher das Maß für die maximale Leistungsfähigkeit des Raumsinnes, sie wird im allgemeinen nach dem Prinzip des kleinsten Distinktionswinkels bestimmt.

Bei genauer optischer Einstellung werden von einem im wesentlichen normalen Auge durchschnittlich zwei Punkte getrennt gesehen, die unter einem Gesichtswinkel von etwa 50″ erscheinen; als untere Grenze der physiologischen Leistungsfähigkeit gilt ein Gesichtswinkel von 60″ oder 1′ (s. auch bei „Bedingungen der Netzhautbildschärfe“ S. 81). Man kann zur Messung entweder Punktproben benutzen, bei denen die Abstände der Punkte voneinander für eine bestimmte Entfernung einem bestimmten Gesichtswinkel entsprechen, oder, was bequemer ist, Schriftzeichen, deren wesentliche Erkennungsmerkmale (die wesentlichen Formteile) nach ihrer Dicke

und ihren Mindestabständen voneinander unter bestimmten Gesichtswinkeln erscheinen.

Nach diesem Prinzip stellte SNELLEN als Sehprobe eine Tafel mit 7 Reihen von Buchstaben her, deren Größe mit jeder Reihe abnimmt. Die Dicke der Buchstabenstriche beträgt $^1/_5$ der Höhe der Buchstaben; die über jeder Reihe angegebene Zahl (D = 60 u. s. w.) bedeutet die Distanz in Metern, in der die Höhe der Buchstaben unter einem Winkel von 5′, die Dicke der Striche unter einem Winkel von 1′ erscheint; die Sehschärfe eines Auges, das eine solche Buchstabenreihe auf die angegebene Entfernung erkennt, wird als gerade normal, als S = 1 oder V (visus) = 1 bezeichnet. Ein solches Auge erkennt beispielsweise die mit D = 6 bezeichnete Reihe auf 6 m; die Sehschärfe eines Auges, das dieselbe Reihe nur auf 3 m erkennt, wird sich zu der des normalen Auges verhalten wie 3 : 6, wir bezeichnen sie mit S = $^3/_6$ oder $^1/_2$, dieses Auge erkennt die Buchstaben erst unter einem doppelt so großen Gesichtswinkel.

In Fig. 31 stellt AK den Abstand von 6 m vor (vom Knotenpunkt des Auges gerechnet), AB die Höhe der auf diesen Abstand erkannten Buchstaben; dieselben, nur auf 3 m Distanz (KC) er-

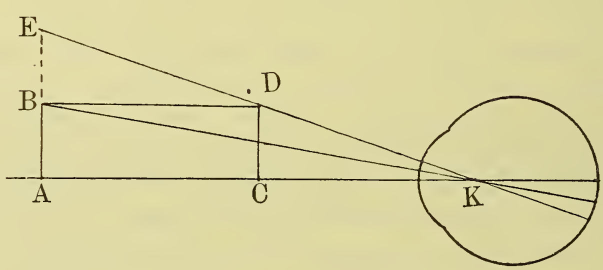


Fig. 31.

kannten Buchstaben (CD) erscheinen unter dem Gesichtswinkel EKA, der doppelt so groß ist, wie der Gesichtswinkel BKA. (Streng genommen ist nur die Tangente des Winkels EKA, das Verhältnis $EA:AK$, doppelt so groß, wie die Tangente des Winkels BKA, d. h. $BA:AK$; aber da es sich nur um sehr kleine Winkel handelt, können wir statt der Tangenten die Winkel selbst setzen.)

Ganz entsprechend hat ein Auge, das z. B. nur die Reihe D = 36 auf 6 m erkennt, S = $^6/_{36}$ (= $^1/_6$), u. s. w. Man drückt also die S durch einen Bruch aus, in dessen Zähler die Distanz d steht, auf welche geprüft wurde, und dessen Nenner die Distanz D

enthält, auf welche das normale Auge die gelesene Reihe noch erkennen würde, was man durch die allgemeine Formel ausdrückt:

$$(\text{V oder})\ \text{S} = \frac{d}{D}.$$

Im allgemeinen ist es zweckmäßig, den gefundenen Bruch nicht zu reduzieren, damit aus der Angabe zugleich ersehen werden kann, auf welche Distanz geprüft wurde (was z. B. bei starker Kurzsichtigkeit nicht gleichgültig ist). Anderseits hat aber auch die Abstufung der S nach einer arithmetischen Reihe im Dezimalbruchsystem gewisse Vorteile, besonders für die Abschätzung von Erwerbsbeschränkung durch Sehstörungen.

Zur Prüfung von Analphabeten hat SNELLEN nach demselben Prinzip wie die Buchstabenproben eine Tafel mit E-Haken hergestellt, bei denen anzugeben ist, nach welcher Seite die drei Striche der Haken zeigen (nach welcher Seite die Haken „offen" sind). Sehr geeignet sind auch die Proben von LOTZ, bei denen einfache Figuren (Ringe, Quadrate — die als „Fenster" bezeichnet werden können —, Kreuze, Striche) verwendet sind, deren Bezeichnung auch von Kindern leicht verstanden wird.

Ist die S so gering, daß von den Sehproben überhaupt nichts mehr erkannt wird, so lassen sich weitere Gradunterschiede nur noch durch gröbere Maße annähernd bestimmen: Durch Fingerzählen auf bestimmten Abstand, Wahrnehmung von Handbewegungen, Bestimmung der Richtung einer stärkeren Lichtquelle (Spiegelreflex, Lichtflamme); diese Prüfung der Richtungswahrnehmung stellt nur eine sehr grobe Prüfung des Raumsinnes dar, sie wird daher stets zugleich zur Prüfung des Lichtsinnes benutzt, was bei diesem besprochen wird.

Wird die Sehschärfe ohne Rücksicht darauf bestimmt, ob die optische Einstellung richtig ist oder nicht, so erhält man zunächst eine relative Sehschärfe, die sogen. „Sehleistung" (TRIEPEL); gewöhnlich versteht man hierunter speziell die Sehleistung für große Entfernung (COHN). Bei Emmetropen (s. S. 84) und Hypermetropen (s. S. 89) bedeutet die Sehleistung für die Ferne zugleich die natürliche Sehschärfe (GULLSTRAND), d. i. die Sehschärfe, die beim unbewaffneten Auge im Bereich der deutlichen Einstellung (Akkommodationsbereich, s. S. 104) gefunden wird. Bei Myopen (s. S. 85) weicht die Sehleistung für die Ferne von der natürlichen Sehschärfe um so mehr ab, je höher die Myopie ist.

Die natürliche Sehschärfe ist das Maß für die thatsächliche Leistungsfähigkeit des Raumsinnes bei unbewaffnetem Auge, sie giebt aber nicht zugleich ein genaues Maß für die Leistungsfähigkeit der Netzhaut, da bei gleichem Distinktionswinkel die Netzhautbildgröße bei verschiedenen Augen verschieden sein kann, und nur das kleinste unterscheidbare Netzhautbild (einer Punktdistanz bei Zugrundelegung des kleinsten Distinktionswinkels) ein vergleichbares Maß für die Netzhautleistung geben kann. Zu letzterem Zweck muß man die Sehschärfe unter der Bedingung prüfen, daß einem Objekt in bestimmtem Abstand auch gleich große Netzhautbilder in verschiedenen Augen entsprechen. Dies ist der Fall, wenn die S an weit entfernten Sehobjekten bei genauer Einstellung und ruhender Akkommodation bestimmt und dabei eine Ametropie (Abweichung von Emmetropie, s. S. 84) durch ein Glas im vorderen Brennpunkt des Auges korrigiert wird (Näheres s. S. 146). Die so ermittelte S bezeichnen wir nach Donders als absolute Sehschärfe. Die praktische Prüfung der S besprechen wir erst nach Erörterung ihrer Abhängigkeitsbedingungen.

Snellens Schriftproben, sowie die nach wesentlich denselben Grundsätzen entworfenen Proben von Schweigger, Javal u. a. entsprechen nicht streng einem einheitlichen Prinzip, da Striche von verschiedener Länge und verschieden große charakteristische Zwischenräume zwischen einzelnen Buchstabenteilen die gleichmäßige Erkennbarkeit der Buchstaben einer Reihe beeinträchtigen, und bei der Ähnlichkeit mancher Buchstaben Verwechselungen zwischen diesen leichter möglich sind als zwischen anderen. Auch die Wahrnehmung von Lageunterschieden, die nicht dem kleinsten Distinktionswinkel entspricht, beeinflußt die Prüfung. Mehrfach wurde diesen Mängeln durch Auswahl möglichst gleichmäßig erkennbarer Buchstaben abzuhelfen gesucht, so von Schneller u. a., aber ohne vollen Erfolg; besonders die deutschen Schriftzeichen boten in dieser Hinsicht Schwierigkeiten, auch sind deutsche Buchstaben sowie Ziffern durchschnittlich etwas schwieriger zu erkennen als gleichgroße lateinische Buchstaben, so daß bei Prüfung mit letzteren die S gewöhnlich etwas größer ausfällt.

Auch wurde gegen die Schriftzeichen prinzipiell eingewendet, daß mit ihnen eine höhere Funktion, der „Formensinn“, geprüft werde, der bei einzelnen Personen sehr verschieden sei (Guillery). Dieser Einwand ist in der That für das Kindesalter bis in die erste Schulzeit hinein zutreffend, wenn man unter Formensinn eine psychologische, von der Seh-Erfahrung abhängige Funktion versteht; sobald aber die Lesefähigkeit genügend entwickelt ist, kann der „Formensinn“ für die Erkennbarkeit einzelner Schriftzeichen im allgemeinen als gleich angesehen werden.

Von Manchen wurden daher die Schriftzeichen wegen der ihnen anhaftenden Mängel als Sehproben überhaupt verworfen und entweder Hakentafeln benutzt (s. o.), oder Proben aus Punktgruppen (Burchardt), Ringen mit einer Lücke an einer bestimmten Stelle (Landolt) und andere Proben. Guillery

schlug die Messung der Punktsehschärfe vor, wozu er Proben mit schwarzen Punkten verschiedener Größe konstruierte, die in quadratischen Feldern eine bestimmte, von dem Untersuchten anzugebende Lage haben (im Centrum, links oben, rechts oben u. s. w.). Aber alle diese Ersatzproben werden die Schriftzeichen nicht verdrängen, denn diese sind zur Prüfung nicht bloß viel bequemer, sondern gerade ihre Mängel bieten zugleich auch gewisse Vorzüge, da in den nicht mehr sicher erkannten Reihen die Art der Verwechselungen dem Kundigen oft gewisse Anhaltspunkte für das Vorhandensein von Astigmatismus, hysterischer Amblyopie, gelegentlich auch von Simulation giebt. Wenn auch eine mathematische Genauigkeit mit den Schriftzeichen nicht zu erreichen ist, so genügen sie doch den praktischen Bedürfnissen, zumal da wir bei diagnostisch unsicheren Fällen ohnehin noch andere Methoden zur Kontrolle zu Hilfe nehmen müssen (s. Farbensinn, Lichtsinn, Gesichtsfeldprüfung).

2. Die Abhängigkeitsbedingungen der Sehschärfe.

Die Sehschärfe hängt von der Feinheit der Reizabgrenzung, d. h. der Schärfe (Deutlichkeit) und der Größe der Netzhautbilder, und von der Feinheit der Empfindungsabgrenzung, also der Leistung des Empfindungsapparates, ab. Wir betrachten zuerst die Abhängigkeit vom Netzhautbild, also von den optischen Bedingungen. (Die Helligkeit der Netzhautbilder beeinflußt vor allem die Netzhautleistung, s. S. 149.)

A. Die optischen Bedingungen der Sehschärfe (Feinheit der Reizabgrenzung).

a. Die Bedingungen der Netzhautbildschärfe.

Die Schärfe des Netzhautbildes (Bilddeutlichkeit) kann nur dann den höchsten Anforderungen der Sehschärfe genügen, wenn die Lichtbrechung des Auges homozentrisch, das Auge auf die Sehprobe optisch eingestellt ist (s. I. Teil S. 56) und die Augenmedien klar sind. Hat also ein Auge normale Sehschärfe für einen bestimmten Abstand der Sehprobe, so können wir im allgemeinen annehmen, daß sowohl diese drei optischen Bedingungen für möglichste Feinheit der Reizabgrenzung im wesentlichen genügend erfüllt sind, als auch die Empfindungsleistung der Netzhautmitte nebst zugehörigen Sehnervenfasern und deren zentraler Endstation normal oder wenigstens annähernd normal ist.

S = 1, „normale“ Sehschärfe, bedeutet nicht die größte überhaupt mögliche Sehschärfe, sondern nur gewissermaßen die Mindestanforderung an ein normales Auge bei den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen eines hellen Zimmers. Viele Augen, zumal jugendliche,

zeigen eine wesentlich höhere Sehschärfe, besonders im Freien, wo die gesamte Beleuchtung heller und die Pupille enger ist; die S kann hier selbst das Zwei- bis Dreifache der „Normalen“ erreichen. Dies zeigt, daß die Genauigkeit der Reizabgrenzung durch die Netzhautbildschärfe bei der gewöhnlichen Prüfung im Zimmer hinter der möglichen Feinheit der Empfindungsabgrenzung durch die Nervenelemente noch zurückbleibt, hier also die Leistungsfähigkeit des Empfindungsapparates nicht vollständig ausgenutzt wird (vergl. auch S. 150). Es können daher bei „normaler S“ sowohl optische Mängel wie eine Verminderung der Leistungsfähigkeit des Empfindungsapparates vorhanden sein, aber immerhin nur in geringem Grade. Krankhafte Störungen des Empfindungsapparates bewirken indes meist sehr bald eine erheblichere Herabsetzung der S, so daß sie im allgemeinen auszuschließen sind, wenn bei Wiederholung der Prüfung in verschiedenen Zeiträumen S nicht unter die Norm sinkt; außerdem läßt sich aber die Empfindungsleistung noch besonders durch die Feinheit der Farbenunterscheidung kontrollieren (s. unter C. Farbensinn S. 169 ff.).

Wie die Prüfung der S zur Ermittelung der optischen Verhältnisse jedes Auges und zugleich zur Beurteilung der Empfindungsleistung benutzt wird, werden wir später im Zusammenhang besprechen (s. S. 151).

Von den Bedingungen der Bilddeutlichkeit erörtern wir zuerst die optische Einstellung unter Voraussetzung homozentrischer Lichtbrechung, d. i. die homozentrische Refraktion im weiteren Sinne, dann die Abweichungen von der homozentrischen Lichtbrechung, und zuletzt die Medientrübungen.

aa) Die optische Einstellung des Auges bei homozentrischer Lichtbrechung: Homozentrische Refraktion im weiteren Sinne.

Jedes Auge hat einen gewissen Spielraum der optischen Einstellung vermöge der Akkommodation (s. S. 99 ff). Wir betrachten zunächst die optische Einstellung unter Ausschluß der Akkommodation, also bei Akkommodationsruhe, d. h. die Refraktion im engeren Sinne oder statische Refraktion.

I. Optische Einstellung bei Akkommodationsruhe: Refraktion im engeren Sinne oder statische Refraktion.

In Akkommodationsruhe ist das Auge auf den fernsten Punkt der Gesichtslinie eingestellt, auf den es sich ohne künstliche

Hilfsmittel überhaupt einstellen kann; diesen bezeichnen wir als **Fernpunkt.**

Wie das optische Bild des Fernpunktes in den Mittelpunkt der Netzhautgrube (den physiologischen Netzhautmittelpunkt) fällt, so fällt natürlich auch umgekehrt das optische Bild des Netzhautmittelpunktes in den Fernpunkt. Die Lage des Fernpunktes, die entweder vom Knotenpunkt des Auges, oder von der Hornhaut als brechender Fläche des vereinfachten Auges (resp. vom 1. Hauptpunkt des schematischen Auges), oder endlich von dem vorderen Brennpunkt des Systems aus gemessen werden kann, hängt somit von den beiden Hauptbrennweiten des Auges und dem Abstand des Netzhautmittelpunktes vom 2. Hauptpunkt (= Achsenlänge des reduzierten Auges) oder, was auf dasselbe hinauskommt, vom hinteren Hauptbrennpunkt ab. Die Darstellung dieser Beziehungen gestaltet sich am einfachsten, wenn wir den Abstand des Fernpunktes vom vorderen Brennpunkt messen: bezeichnen wir diesen Abstand mit φ_1, den Abstand des Netzhautmittelpunktes vom hinteren Brennpunkt mit φ_2, die vordere und hintere Brennweite mit f_1 und f_2, so verhält sich $\varphi_1 : f_1 = f_2 : \varphi_2$ (vergl. I. Teil S. 75, Ergänzung zu S. 19), es ist also

1) $$\varphi_1 = \frac{f_1 f_2}{\varphi_2}.$$

Bei Augen mit denselben Brennweiten, d. h. mit derselben Beschaffenheit des lichtbrechenden Systems, hängt also eine verschiedene Lage des Fernpunktes nur von dem Abstand des Netzhautmittelpunktes vom hinteren Brennpunkt bezw. vom 2. Hauptpunkt, also von der Achsenlänge des reduzierten Auges ab. Dies tritt noch unmittelbarer hervor, wenn wir in obiger Gleichung für φ_2 direkt die Differenz der Achsenlänge l (des reduzierten Auges) und der hinteren Brennweite f_2 einführen:

1 a) $$\varphi_1 = \frac{f_1 f_2}{l - f_2}.$$

Umgekehrt zeigt die Formel zugleich, daß für Augen von gleicher Achsenlänge Lageunterschiede des Fernpunkts lediglich von den Hauptbrennweiten des Systems abhängen.

Aus der Formel ergiebt sich ferner ohne weiteres, daß wir je nach dem Verhältnis zwischen Achsenlänge und hinterer Brennweite drei Arten von Refraktion, also Fernpunktslagen, unterscheiden können: Ist $l = f_2$, so wird der Nenner in dem Bruch $= 0$, der Fernpunktsabstand φ_1 also $= \infty$; dieser Fall

stellt die Normalrefraktion dar (s. Emmetropie). Ist $l > f_2$, so bleibt der Nenner des Bruches und damit auch φ_1 eine positive endliche Größe, der Fernpunkt liegt in endlichem, also meßbarem Abstand vor dem Auge (s. Myopie); ist $l < f_2$, so wird der Nenner des Bruches und damit der ganze Bruch (da $f_1 f_2$ stets positiv ist) negativ, somit wird φ_1 eine negative Größe, d. h. der Abstand des Fernpunkts vom vorderen Brennpunkt ist nach der andern Seite hin (nach rückwärts vom Auge) zu messen, der Fernpunkt liegt in bestimmtem, endlichem Abstand hinter dem Auge (s. Hypermetropie).

Jede Abweichung von der Normalrefraktion bezeichnen wir als **Ametropie** oder Refraktionsanomalie; die beiden letzterwähnten Fälle sind Refraktionsanomalien mit homozentrischer Lichtbrechung, im Gegensatz zu den Anomalien mit nicht homozentrischer Lichtbrechung (s. S. 137 ff.).

1. *Emmetropie, normale Fernpunktslage.*

Als Normalrefraktion betrachten wir den Zustand, bei dem der Fernpunkt in sehr großer, mathematisch gesprochen in unendlich großer, Entfernung liegt; das ist der Fall, wenn die Achsen-

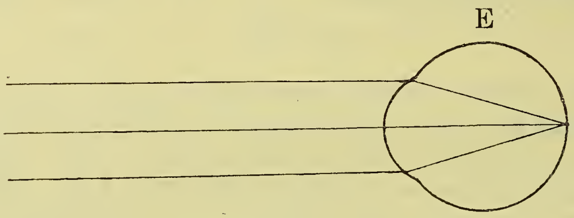


Fig. 32.

länge des (vereinfachten schematischen) Auges gleich der hinteren Brennweite ist. Wir bezeichnen diesen Zustand nach Donders als Emmetropie (von ἔμ-μετρος und ὤψ, im richtigen Maße sehend), gewöhnlich abgekürzt mit **E**. Ein solches Auge sieht ohne Akkommodation in der Blickrichtung sehr weit entfernte Gegenstände deutlich, da deren optisches Bild genau in die mit der hinteren Brennebene zusammenfallende Netzhautmitte fällt (s. Fig. 32), indem wir für alle Punkte eines sehr fernen Gegenstandes die von ihnen ins Auge gelangenden Strahlenbündel als aus parallelen Strahlen bestehend betrachten können.

Sobald ein solches emmetropisches Auge akkommodiert oder sich eine, wenn auch nur schwache Konvexlinse vorsetzt, wird es

von sehr fernen Gegenständen kein ganz scharfes Netzhautbild mehr bekommen, da jetzt die Brechkraft des brechenden Systems erhöht und somit die (hintere) Brennweite kürzer geworden ist als die Achsenlänge des Auges, so daß das optische Bild sehr ferner Punkte jetzt etwas vor die Netzhaut fällt; das Beleuchtungsbild auf dieser ist nicht mehr zugleich optisches Bild, sondern ein Zerstreuungsbild (s. I. Teil, S. 33 f.).

Durch Vorsetzen einer Konvexlinse wird das emmetropische Auge genau auf den Hauptbrennpunkt dieser Linse optisch eingestellt, da die von diesem ausgehenden Strahlen durch die Linse parallel gemacht werden (s. unten Fig. 35, S. 88); wir können auch sagen, es wird dadurch künstlich kurzsichtig gemacht (vgl. Myopie).

Wir können jedes Auge als emmetropisch betrachten, dessen Fernpunkt zwischen 6 m und ∞ liegt; das optische Bild eines 6 m entfernten Punktes fällt nur $^1/_{20}$ mm hinter die Netzhaut des auf ∞ eingestellten Auges, so daß das Beleuchtungsbild auf der Netzhaut noch keinen merklichen Zerstreuungskreis bildet.

Dies ergiebt sich aus der Gleichung 1 a), die wir auch in der Form schreiben können: $\varphi_2 = \frac{f_1 f_2}{\varphi_1}$, worin φ_1 den Abstand des Objektpunktes vom vorderen Brennpunkte des Auges, hier also 6000 mm, φ_2 den Abstand des Bildpunktes vom hinteren Brennpunkte (also beim emmetropischen Auge von der Netzhaut nach hinten, da φ_2 positiv wird) bedeuten; für f_1 und f_2 nehmen wir die Werte des vereinfachten Auges von Donders, also 15 und 20 mm (s. I. Teil, S. 55), dann ist $\varphi_2 = 15 \cdot 20 : 6000 = {}^1/_{20}$ mm.

2. *Myopie = Kurzsichtigkeit.*

Ist die Achsenlänge des Auges größer als die hintere Brennnweite, also $l - f_2$ eine positive Größe, so wird der Fern-

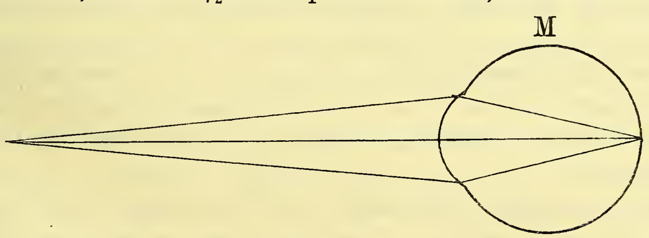


Fig. 33.

punktabstand φ_1 nicht mehr unendlich groß, der Fernpunkt liegt also in einem endlichen, meßbaren Abstand vor dem Auge (s. Fig. 33), und zwar ist φ_1 um so geringer, je größer die Differenz

$l - f_2$ ist. Ein solches Auge nennen wir kurzsichtig, da es über eine gewisse Entfernung hinaus nicht mehr deutlich sehen kann. Die Kurzsichtigkeit oder Myopie (**M**) (*Μύωψ* = Blinzelauge) ist um so größer, je näher der Fernpunkt liegt. Das optische Bild des unendlich fernen Punktes der Gesichtslinie liegt in dem vor der Netzhaut befindlichen hinteren Brennpunkte, sein Beleuchtungsbild auf der Netzhaut ist ein Zerstreuungsbild (s. Fig. 34).

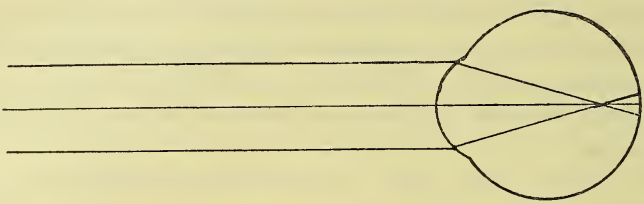


Fig. 34.

Da die M von dem Unterschied zwischen der Achsenlänge und der hinteren Brennweite abhängt, so kann sie ebensogut durch eine zu kurze hintere Brennweite (zu große Brechkraft des dioptrischen Systems), wie durch zu große Achsenlänge bedingt sein; die beiden Faktoren können sich auch in ihrer Wirkung summieren oder aber gegenseitig mehr oder minder kompensieren. Im allgemeinen ist die (hintere) Brennweite des kurzsichtigen Auges nicht größer (dessen Brechkraft nicht stärker) als bei einem emmetropischen Auge, die M ist daher gewöhnlich durch Achsenverlängerung bedingt, was wir als Achsenmyopie (**AM**) bezeichnen. Sie entsteht durch zu starkes Längenwachstum des Augapfels unter dem Einfluß des äußeren Muskeldruckes bei der Naharbeit (Sattler, Stilling).

Eine M, die durch zu starke Brechkraft (zu kurze Brennweite) des Systems bedingt ist, bezeichnen wir als Brechungsmyopie (**BM**); sie ist verhältnismäßig selten und kann durch zu starke Krümmung der Hornhaut oder der Linse, durch zu hohen Totalindex der Linse, endlich durch zu geringen Abstand der Linse von der Hornhaut bedingt sein.

Ob im einzelnen Fall AM oder BM vorliegt, kann nur durch Bestimmung der optischen Konstanten des betreffenden Auges ermittelt werden, abgesehen von Fällen erworbener BM infolge krankhafter Veränderungen (s. III. Teil, 1. Erworbene Refraktionsänderung). Im übrigen kommt es darauf aber wenig an, und wir können ein myopisches Auge stets mit einem gedachten, gleich

langen emmetropischen Auge vergleichen, das durch eine Konvexlinse auf den Fernpunktsabstand des kurzsichtigen Auges optisch eingestellt wird (s. Fig. 35). Die Brennweite dieses Glases muß also seinem Abstand von dem Einstellungspunkt entsprechen. Denken wir uns diese Konvexlinie direkt der Hornhaut eines reduzierten emmetropischen Auges aufgelegt (nur mit einer Luftschicht dazwischen), so würde die Brennweite dieses Glases (fast) genau dem Abstand des Fernpunktes vom Hornhautscheitel, also vom Hauptpunkte des reduzierten Auges entsprechen müssen. Ist r der in Metern ausgedrückte Abstand des Fernpunktes vom 1. Hauptpunkte des kurzsichtigen Auges, so muß r auch die Brennweite und $1/r$ die in Dioptrien ausgedrückte Brechkraft der Linse sein, die das reduzierte emmetropische Auge auf denselben Abstand einstellen würde. Um den Betrag dieser Brechkraft, also um $1/r$ Dioptrien, weicht das myopische Auge im Sinne eines Brechkraftzuwuchses von einem gleichlangen emmetropischen Auge ab, d. h. um diesen Betrag ist die Brechkraft des myopischen Auges (für den Strahlengang aus der Luft ins Auge) zu groß relativ zu seiner Achsenlänge. Das theoretische Maß der Myopie oder der Myopiegrad ist also $= 1/r$, d. h. gleich dem reziproken Wert der vom 1. Hauptpunkte aus gemessenen Fernpunktsdistanz, welcher der Brechkraft der ein emmetropisches Auge ebenso kurzsichtig machenden, am Orte des Hauptpunktes gedachten Konvexlinse entspricht.

Die Kurzsichtigkeit könnte durch eine dicht vor die Hornhaut gesetzte Zerstreuungslinse von ebenso großer negativer Brechkraft ($= -1/r$) korrigiert werden,[1] mit der Bestimmung dieses korrigierenden Glases wäre also ebenfalls der Grad der M bestimmt.

Da wir aber die Korrektionsgläser praktisch nicht an den 1. Hauptpunkt und auch nicht dicht an die wirkliche Hornhaut setzen können, ist es zweckmäßig, das korrigierende Glas weiter vorn, etwa am Ort des vorderen Brennpunktes des Auges (12 bis) 13 mm vor dem (wirklichen) Hornhautscheitel anzubringen (was für manche theoretische Betrachtungen am bequemsten ist), also das myopische Auge einem emmetropischen gleich zu setzen, dem

[1] Dies wäre theoretisch auch für das nicht reduzierte Auge möglich mit einer konvexkonkaven Zerstreuungslinse, deren Hauptpunkte auf der konkaven Seite der Linse liegen und daher bei entsprechender Beschaffenheit der Linse mit den Hauptpunkten des Auges zusammenfallen könnten. (Die Brennweiten der Linse werden von ihren Hauptpunkten aus gemessen.)

am Ort des vorderen Brennpunktes ein Konvexglas von bestimmter Brechkraft vorgesetzt ist (s. Fig. 35). Dieses Konvexglas muß, da es dem Fernpunkt etwas näher liegt, als ein direkt an die Hornhaut gelegtes Glas, eine etwas kürzere Brennweite, also größere

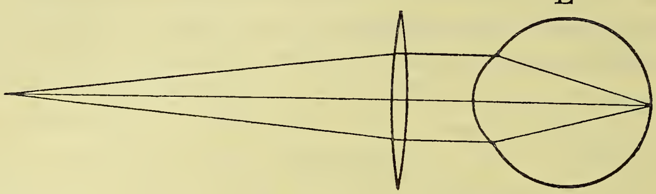


Fig. 35.

Brechkraft haben als das direkt anliegende Glas, und dementsprechend muß auch die negative Brechkraft des am Ort des vorderen Brennpunktes die M korrigierenden Konkavglases größer sein, als bei Korrektion dicht an der Hornhaut, denn die negative Brennweite des korrigierenden Glases muß ebenfalls gleich seinem Abstand vom Fernpunkt sein. Das korrigierende Konkavglas bezeichnet den Korrektionswert der Myopie; es giebt den von einem sehr fernen Punkt parallel

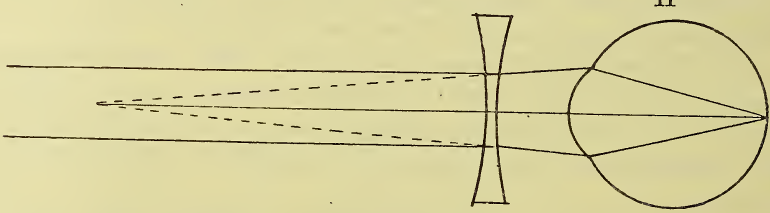


Fig. 36.

auftreffenden Strahlen eine Richtung, als ob sie von dem Fernpunkt des kurzsichtigen Auges herkämen, da dieser mit dem negativen Brennpunkt des korrigierenden Glases zusammenfällt (s. Fig. 36).

Es wäre folgerichtig, den Grad der M nach ihrer Abweichung von der E im Sinne eines relativen Brechkraftzuwuchses, also durch eine positive Größe auszudrücken, es ist aber allgemein üblich, ihn nach der negativen Brechkraft des korrigierenden Glases zu bezeichnen, also mit einer negativen Zahl, und zwar gilt die Bezeichnung im allgemeinen, wenn keine andere Voraus-

setzung angegeben ist, für ein im gewöhnlichen Brillenabstande befindliches Glas, der meist zwischen 12 und 14 mm schwankt, also ziemlich genau dem vorderen Brennpunkt des Auges entspricht. Es bedeutet z. B. — 3,0 eine M von 3D, d. h. eine durch ein im gewöhnlichen Brillenabstand vorgesetztes Konkavglas von 3 D korrigierbare M.

Durch das korrigierende Glas wird ein kurzsichtiges Auge auf unendlich große Entfernung eingestellt; bei Vorsetzen eines schwächeren, „unterkorrigierenden“ Konkavglases bleibt noch eine M bestehen, die dem Brechkraftunterschied des vollkorrigierenden und des unterkorrigierenden Glases entspricht. Z. B. bei einer M von 5D bleibt nach Vorsetzen von — 3,0 noch eine M von 2D zurück, das Auge ist dann auf 100 : 2 = 50 cm (vom Ort des Glases ab) optisch eingestellt. Durch ein zu starkes, „überkorrigierendes“ Konkavglas würde die M auf einen hinter dem Auge gelegenen Punkt eingestellt, d. h. es würde übersichtig, hypermetropisch gemacht (s. 3. Hypermetropie).

Brillenverordnung bei Myopie. Für die Ferne wird die M im allgemeinen am besten vollkorrigiert, bei höheren Graden wird aber die volle Korrektion oft nicht gut vertragen wegen der verkleinernden Wirkung der Konkavgläser (s. unter Netzhautbildgröße S. 144) und der prismatischen Wirkung der Randzone; man korrigiert dann die M etwa zu $^3/_4$ oder — bei sehr hohen Graden, 20D und mehr — zur Hälfte. Für die Nähe ist meistens das Glas am zweckmäßigsten, mit dem der Nahpunkt eines gleichalterigen Emmetropen (im presbyopischen Alter der des entsprechend presbyopisch korrigierten Emmetropen) erreicht wird; bei normaler Akkommodationsbreite kann also im allgemeinen auch für die Nähe vollkorrigiert werden. Stets sind aber bei jedem Falle dessen besondere Verhältnisse zu berücksichtigen (dynamische Muskelverhältnisse, Sehschärfe, Berufsanforderungen u. s. w.).

3. *Hypermetropie-Übersichtigkeit.*

Ist die Achsenlänge eines Auges kürzer als seine hintere Brennweite, liegt also der Netzhautmittelpunkt vor dem hinteren Hauptbrennpunkte, so wird in unserer Formel 1 a (S. 83) $l - f_2$ negativ, und damit wird auch der Fernpunktsabstand φ_1 negativ, d. h. der Fernpunkt liegt in einem bestimmten Abstande

hinter dem Auge. Betrachten wir den Fernpunkt als Lichtobjekt, so können wir auch sagen, er liegt in „negativer Objektdistanz (s. I. Teil S. 22), d. h. Lichtstrahlen, die so konvergent auf die Hornhaut treffen, daß sie gegen den Fernpunkt gerichtet sind, vereinigen sich genau im Netzhautmittelpunkt, s. Fig. 37.

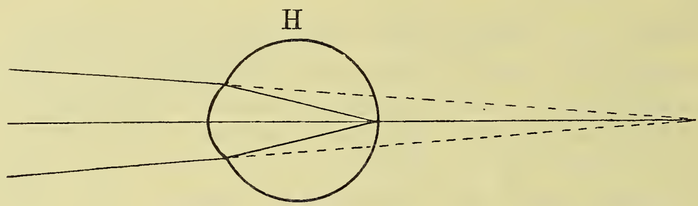


Fig. 37.

Konvergente Strahlenbündel sind natürlich solche Strahlenbündel, die durch eine bereits vorausgegangene Lichtbrechung (oder Spiegelung) erst konvergent gemacht worden sind.

Wir können uns ein solches Auge durch fortschreitende Achsenverkürzung eines ursprünglich myopischen Auges entstanden denken: je kürzer dessen sagittaler Durchmesser wird, je mehr sich also der Netzhautmittelpunkt dem hinteren Brennpunkt nähert, um so weiter rückt der ursprünglich in einem bestimmten Abstande vor dem Auge gelegenen Fernpunkt vom Auge ab, und er rückt ins Unendliche — es entsteht E —, sobald die Achsenlänge gleich der hinteren Brennweite geworden ist; nimmt die Achsenlänge noch mehr ab, so rückt der Fernpunkt über das Unendliche hinaus, d. h. er ist durch $\pm \infty$ hindurch auf die entgegengesetzte Seite des Auges gelangt, wir können also sagen, bei einem solchen Auge vereinigen sich Strahlen auf der Netzhaut, die „von jenseits Unendlich" herkommen, das Auge sieht, rein theoretisch gesprochen, „über das Unendliche hinaus" oder über „jedes Maß hinaus", dieser Zustand wurde daher von Donders als „Hypermetropie" bezeichnet, wofür wir gewöhnlich die Abkürzung **H** gebrauchen.

Die H ist um so größer, je geringer der negative Fernpunktsabstand ist.

Das optische Bild des unendlich fernen Punktes der Gesichtslinie ist der hinter der Netzhaut gelegene hintere Brennpunkt; das Netzhautbild (Beleuchtungsbild) dieses unendlich fernen Punktes ist also ein Zerstreuungsbild, s. Fig. 38.

Die H kann ebensowohl durch eine gegenüber dem normalen

Auge zu kurze Achsenlänge bedingt sein, was wir als Achsenhypermetropie bezeichnen (**AH**), wie durch eine zu große Brennweite (zu geringe Brechkraft) des dioptrischen Systems: sogenannte Brechungshypermetropie (**BH**). In der Regel liegt AH vor; ein

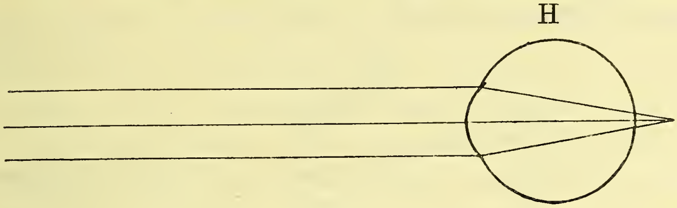


Fig. 38.

besonderer Fall von BH ist bei dem linsenlosen, „aphakischen" Auge gegeben (s. Aphakie S. 96).

Wir können jedes hypermetropische Auge mit einem gleichlangen emmetropischen vergleichen, das durch eine Konkavlinse auf denselben (negativen) Abstand eingestellt ist (s. Fig. 39). Denken wir uns die Konkavlinse dicht vor den Scheitel des reduzierten Auges gelegt (oder einem nicht reduzierten emmetropischen Auge eine konvexkonkave Zerstreuungslinse vorgesetzt, deren Hauptpunkte mit denen des Auges zusammenfallen, vgl. die Fußnote S. 87), so muß

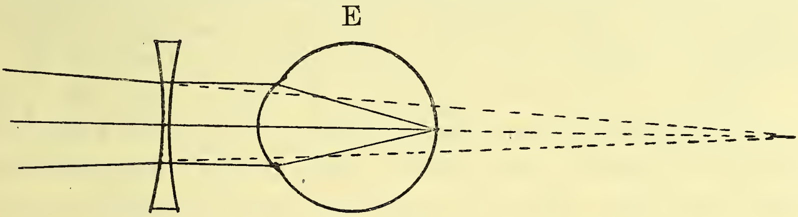


Fig. 39.

die Brennweite dieser Linse ihrem Abstand von dem geforderten Einstellungspunkte entsprechen. Der reziproke Wert des Fernpunktabstandes vom Hauptpunkt des hypermetropischen Auges (vom Hornhautscheitel bei reduziertem Auge), entspricht also der Brechkraft jener Konkavlinse, die das emmetropische Auge auf denselben Abstand einstellt, jener Wert ($- 1/r$) stellt den theoretischen Grad der H dar. Um diese (negative) Brechkraft weicht das hypermetropische Auge im Sinne einer Brechkraftverminderung von einem gleichlangen emmetropischen Auge ab, seine Brechkraft ist zu gering relativ zu seiner Achsenlänge.

Den Korrektionswert der H bezeichnen wir nach der Brechkraft des im vorderen Brennpunkt des Auges oder im gewöhnlichen Brillenabstand die H korrigierenden Konvexglases.

Durch dieses Glas wird das hypermetropische Auge auf unendlich große Distanz eingestellt (s. Fig. 40).

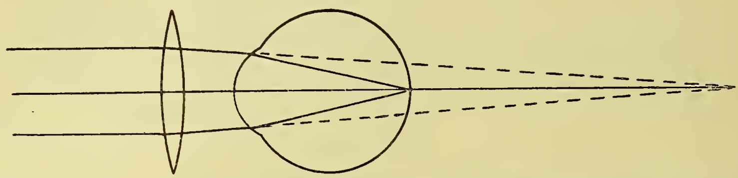


Fig. 40.

Die Brennweite des korrigierenden Glases muß stets gleich seinem Abstand von dem hinter dem Auge gelegenen Fernpunkt sein, sie muß um so größer sein, — die Brechkraft des Glases also um so geringer, — je weiter das Glas vom Auge absteht.

Bei Vorsetzen eines „unterkorrigierenden", schwächeren Konvexglases bleibt noch ein bestimmter Grad von H bestehen, die dem Brechkraftunterschied des vollkorrigierenden und des unterkorrigierenden Glases entspricht; die optische Einstellung, die Fernpunktslage, entspricht dann dem noch restierenden Grad von H.

Durch ein überkorrigierendes Konvexglas wird das Auge um den Überschuß dieses Glases über das korrigierende künstlich myopisch gemacht, es ist jetzt auf einen vor dem Auge gelegenen Punkt eingestellt; wird z. B. bei H = 3,0 ein Konvexglas von 5,0 (+ 5,0) vorgesetzt, so ist das Auge um 2 D überkorrigiert, es ist auf einen Abstand von 100 : 2 = 50 cm optisch eingestellt (gerade wie ein emmetropisches Auge, dem + 2,0 vorgesetzt ist).

Da der Hypermetrope wohl seine H, nicht aber Konvexgläser mit auf die Welt bringt, muß er von Kindheit auf stets akkommodieren, wenn er deutlich sehen will; er ist daher so daran gewöhnt, bei jedem fixierenden Sehen zugleich zu akkommodieren, daß er, wenn ihm zum ersten Male Konvexgläser vorgesetzt werden, den gewöhnten Akkommodationsimpuls nicht ganz unterlassen, sondern nur bis zu einem gewissen Grad abschwächen kann; dadurch bleibt bei der subjektiven Prüfung ein Teil der H verdeckt, latent. Das stärkste Konvexglas, mit dem ein Hypermetrope sich noch auf sehr

großen Abstand (d. h. mindestens auf 6 m, vergleiche S. 85) optisch einstellen kann, entspricht daher nur einem Teil der totalen H; diese setzt sich also zusammen aus einem manifesten Teil, welcher dem stärksten, noch Ferneinstellung ermöglichenden Konvexglas entspricht, und einem latenten Teil, der nur bei gleichgültigem Blick (im dunklen Zimmer beim Augenspiegeln, aber auch nicht immer), sowie bei Lähmung der Akkommodation zu Tage tritt; bei Lähmung durch Atropin ist die Erschlaffung des Ciliarmuskels noch vollständiger als bei Lähmung des Okulomotorius zentralwärts vom Ciliarganglion, bei der von diesem Ganglion aus noch ein gewisser Tonus des Muskels unterhalten wird.

Die latente H (H_l) kann erst nach Ermittelung der totalen (H_t) und der manifesten (H_m), deren Differenz sie darstellt, durch Rechnung bestimmt werden: $H_l = H_t - H_m$.

Von der H bleibt im allgemeinen ein um so größerer Teil latent, je größer die H überhaupt ist, die H_l nimmt aber stets mit dem Alter immer mehr, bis zu schließlichem Verschwinden, ab, indem mehr und mehr eine Gewöhnung an die Entspannung der Akkommodation eintritt, besonders unter dem Einfluß der korrigierenden Gläser.

Bei der manifesten H unterscheidet DONDERS noch drei Arten: eine absolute H, die auch für die Ferne nicht mehr durch Akkommodation überwindbar ist (selbst nicht unter Zuhilfenahme möglichst starker Konvergenz), eine relative H, die nur unter Mithilfe zu starker Konvergenz (also unter Aufgabe des binokularen Einfachsehens durch Schielen, vgl. S. 123 f.) durch Akkommodationsanstrengung noch überwunden werden kann, und eine fakultative H, bei der auch mit richtiger Stellung beider Augen noch ohne Glas mindestens für die Ferne richtige optische Einstellung möglich ist.

Brillenverordnung bei Hypermetropie. Im allgemeinen wird am besten die manifeste H dauernd voll korrigiert; geringe Grade, etwa 1,5 D, kann man für die Ferne — bei Kindern auch für die Nähe — unkorrigiert lassen, es ist aber hygienisch jedenfalls richtiger, mit der Korrektion nicht zu warten, bis Sehbeschwerden eintreten. Bei Damen ist der Gebrauch eines Konvexglases für die Ferne meist schwer durchzuführen, solange sie ohne Beschwerden gut sehen; bald verschwindet gewöhnlich der verordnete Klemmer, und zuweilen — für den Arzt — auch die Patientin.

Da allmählich ein größerer Teil der H manifest wird, besonders in der ersten Zeit des Gläsergebrauches, so ist es zweckmäßig, die

ersten Gläser spätestens nach $^1/_2$ Jahr durch entsprechend stärkere zu ersetzen, was gleich bei der ersten Untersuchung in Aussicht zu stellen ist. Weiterhin sind die Gläser noch in größeren Zwischenräumen zu kontrollieren und im Bedarfsfall zu ändern. Solang noch ein wesentlicher Teil der H latent ist, bedarf der Hypermetrop oft zur Naharbeit eines stärkeren (etwa des die H_t korrigierenden) Glases, als zum Fernsehen. Der presbyopische Hypermetrop (s. Presbyopie) braucht stets eine Fern- und eine Nahbrille.

4. *Anisometropie = verschiedene Refraktion beider Augen.*

Geringe Unterschiede der Refraktion beider Augen haben keine wesentliche Bedeutung; bei stärkeren Unterschieden wird hauptsächlich die Feinheit der binokularen Tiefenwahrnehmung beeinträchtigt (s. S. 156), und zwar um so mehr, je größer dieser Unterschied ist, so daß eine binokulare Tiefenwahrnehmung bei gewissen Graden des Unterschiedes überhaupt nicht zu stande kommt; dies ist um so eher der Fall, wenn zugleich die S eines Auges herabgesetzt ist. Durch Akkommodation wird die ungleiche optische Einstellung beider Augen nicht ausgeglichen.

Brillenverordnung bei Anisometropie. Mit entsprechenden Gläsern kann man an sich stets gleiche optische Einstellung beider Augen auf einen bestimmten Abstand herstellen, indem man durch die Korrektion beide Augen emmetropisch macht (Vollkorrektion) oder beiden einen bestimmten gleichen Grad von M giebt; aber diese Ausgleichung wird gewöhnlich nur bei geringeren Refraktionsunterschieden gut vertragen, bei größeren Unterschieden bewirken die verschiedenen Brillengläser oft eine merklich verschiedene Größe der Netzhautbilder besonders für größere Objekte (s. S. 147), wodurch deren binokulare Verschmelzung erschwert wird; es tritt ein gewisses Gefühl des Unbehagens ein, das einer Art Blendungsgefühl ähnlich ist. Je nach dem Verhalten beider Augen zu einander, der Art der Anisometropie, ist dann verschieden zu verfahren, wofür wir die Hauptgrundsätze kurz aufstellen wollen (über die Korrektion bei einseitiger Aphakie s. 5. Anhang):

1. Ein Auge ist emmetropisch, das andere myopisch. Meistens wird das emmetropische für die Ferne, das myopische, wenn es genügend sehtüchtig ist, für die Nähe, und wenn es zu schwachsichtig ist, überhaupt nicht zum fixierenden Sehen benutzt. Eine Korrektion ist hier meist nicht erforderlich; bei geringer M

ist gewöhnlich auch genügendes binokulares Tiefensehen vorhanden, doch wird dieses durch Korrektion der M oft wesentlich verbessert; bei höherer M wird durch ein Konkavglas, auch durch ein unterkorrigierendes, meist das Netzhautbild zu sehr verkleinert; zuweilen wirkt aber doch ein unterkorrigierendes Konkavglas vor diesem Auge (vor dem anderen plan) angenehm und zugleich verbessernd auf das Tiefensehen. Man findet das passende Konkavglas am besten durch Ausprobieren des für die Ferne beim Binokularsehen angenehmsten Glases.

2. Beide Augen haben Myopie verschiedenen Grades. Das schwächer myopische wird nach den gewöhnlichen Regeln korrigiert (s. S. 89) und dem stärker myopischen entweder dasselbe (besonders wenn es zugleich schwachsichtig ist) oder ein den Refraktionsunterschied teilweise oder ganz ausgleichendes Glas gegeben; am besten probiert man auch hier das Glas aus, welches mit dem des anderen der subjektiven Empfindung nach am besten zusammenpaßt (eventuell für Fern- und Nahbrille besonders).

Ist zufällig das stärker myopische Auge das sehtüchtigere, so richtet sich die Verordnung zunächst nach diesem; das andere Auge wird voll korrigiert oder, wenn das stärker myopische Auge unterkorrigiert wird, in ungefähr gleichem Verhältnis unterkorrigiert.

3. Ein Auge hat Emmetropie, das andere Hypermetropie. Die H wird nur dann (voll oder annähernd voll) korrigiert, wenn dieses Auge gut sieht und das binokulare Sehen durch die Korrektion eine Verbesserung erfährt.

4. Beide Augen haben verschiedene Hypermetropie. Beim schwächer hypermetropischen Auge wird H_m korrigiert, beim stärker hypermetropischen entweder dasselbe Glas gegeben (besonders wenn das Auge schwachsichtig ist), oder ebenfalls das die H_m korrigierende, oder auch ein dazwischen liegendes (bei größerem Unterschiede und vorhandenem Binokularsehen); es ist auszuprobieren, welche Kombination am angenehmsten empfunden wird.

Ist das stärker hypermetropische Auge das sehtüchtigere so wird beiderseits H_m korrigiert.

5. Das eine Auge hat Myopie, das andere Hypermetropie. Das für die jeweils in Betracht kommende Entfernung sehtüchtigere Auge wird den üblichen Regeln entsprechend korrigiert; für das andere Auge gilt das unter Fall **3** Gesagte, wenn es das hypermetropische, das unter Fall **1** Gesagte, wenn es das myopische ist.

5. *Anhang: Aphakie.*

Unter Aphakie verstehen wir hier das Fehlen der Linse im dioptrischen System des Auges, gleichgültig, ob die Linse überhaupt nicht im Auge oder ob sie in den Glaskörper versunken ist, sei es durch spontane (angeborene) oder durch traumatische Luxation. Das aphakische Auge stellt ein einfaches dioptrisches System dar, dessen brechende Fläche die Vorderfläche der Hornhaut ist, als Trennungsfläche zwischen Luft und Augenmedien: Hornhautsubstanz, Kammerwasser und Glaskörper, die wir als optisch gleichartig betrachten können, da ihr Brechungsindex fast genau gleich ist. Wir haben hier also ein wirklich vereinfachtes Auge, das aber erheblich geringere Brechkräfte hat als das vereinfachte Normalauge, indem seine Hauptbrennweiten durch die Hauptbrennweiten der Hornhaut repräsentiert und vom Hornhautscheitel aus zu rechnen sind.

Die vordere Hauptbrennweite der Hornhaut (beim normalen Auge ihre Partialbrennweite genannt) beträgt nach v. Helmholtz 23,266 mm, ihre hintere Hauptbrennweite 31,095 mm; diese Werte können wir auf 23 und 31 mm abrunden. (Tscherning berechnet die Hornhautbrennweiten auf 24,4 und 32,6 mm.) Ein aphakisches Auge wäre also bei einer Achsenlänge von 31 mm emmetropisch. Da die Achsenlänge der weitaus meisten Augen erheblich geringer ist, so besteht bei Aphakie meist starke H.

Ein ursprünglich emmetropisches Auge bekommt nach Staroperation gewöhnlich eine H von 10 bis 10,5 D bei Korrektion im gewöhnlichen Brillenabstande, etwa 13 mm vor der Hornhaut. Die durch Linsenentfernung bewirkte Refraktionsverringerung ist um so größer, je größer die Achsenlänge des Auges ist, sie nimmt also bei AM mit dem Grad der ursprünglichen M zu, und bei AH mit dem Grad der ursprünglichen H ab.

Dies ist durch die verschiedene Wirkung der Achsenlänge auf die Refraktion beim aphakischen und beim linsenhaltigen Auge, das wir mit Schoen kurz Vollauge nennen wollen, bedingt, was durch einige Betrachtungen erläutert werden soll. Welche Achsenlänge entspricht einem aphakischen Auge, das mit + 10,0 im gewöhnlichen Brillenabstande, 13 mm vor der Hornhaut, korrigiert wird, wenn die Achsenlänge eines aphakisch-emmetropischen Auges (mit gleicher Hornhautkrümmung) 31 mm beträgt? Die Antwort ergiebt sich aus der Berechnung des Abstandes der Netzhaut vom hinteren Brennpunkt mittels der Gleichung $\varphi_2 = \frac{f_1 f_2}{\varphi_1}$ (s. S. 83). Beim aphakischen Auge ist die vordere Brennweite $f_1 = 23$ mm, die hintere Brennweite $f_2 = 31$ mm; der Fernpunkt des mit

+ 10,0 im Brillenabstand korrigierbaren Auges liegt hinter dem Auge in einem Abstand von 100 mm vom Ort des korrigierenden Glases, also von 110 mm vom Ort des vorderen Brennpunktes, ein an diesem Punkt die H korrigierendes Glas müßte also eine Brennweite von 110 mm oder eine Brechkraft von $\frac{1000}{110} = 9$ D haben. In unserer Gleichung ist also $\varphi_1 = -110$ zu setzen. Dann wird

$$\varphi_2 = \frac{23 \cdot 31}{-110} = -6{,}5,$$

d. h. der Netzhautmittelpunkt liegt in diesem Falle 6,5 mm vor dem hinteren Brennpunkt, also beträgt die Achsenlänge des mit + 10,0 im gewöhnlichen Brillenabstande oder mit + 9,0 im vorderen Brennpunkt korrigierbaren Auges 31 − 6,5 = **24,5** mm. Dieser Wert stimmt ziemlich genau mit der von Tscherning angenommenen durchschnittlichen Achsenlänge des emmetropischen Vollauges (24,75) überein.

Da also beim aphakischen Auge einer Achsenlänge von 31 mm Emmetropie entspricht, einer um 6,5 mm kürzeren Achsenlänge dagegen eine H = 9,0, auf die Korrektion im vorderen Brennpunkt bezogen, so entspricht beim aphakischen Auge einer Achsenverkürzung um 6,5 mm eine Refraktionsverminderung (Hypermetropischerwerden) um 9 D, und somit einer Achsenverkürzung um 1 mm eine Refraktionsverminderung um 9 : 6,5 = **1,4 D** oder, wenn wir die Rechnung auch für Korrektion im Brillenabstand gelten lassen, um 10 : 6,5 = 1,5 D; ebenso entspricht einer Achsenverlängerung um 1 mm beim aphakischen Auge eine Refraktionserhöhung (Myopischerwerden) um **1,5 D**.

Beim Vollauge dagegen entspricht einer Achsenverlängerung um 1 mm eine Refraktionserhöhung von 3 D (für $\varphi_2 = 1$ mm wird $\varphi_1 = \frac{15{,}5 \cdot 20{,}7}{1}$ [die Helmholtz'schen Werte der vorderen und hinteren Brennweite] = 320 mm, d. h. der Fernpunktsabstand beträgt 32 cm, was ziemlich genau einer M = 3,0 entspricht).

Während also die Refraktion eines Vollauges, dessen Achsenlänge 1 mm mehr beträgt als die eines emmetropischen Vollauges (mit gleichen Brechkräften), eine um 3 D höhere Refraktion hat als dieses, wird die Refraktion jenes achsenlängeren Auges nach Entfernung der Linse nur um 1,5 D höher (weniger hypermetropisch) sein als die Refraktion des gleichfalls aphakisch gemachten ursprünglich emmetropischen Auges; da letzteres H = 10,0 bekommen hat, muß das Auge mit ursprünglich **M = 3,0** gegenüber dem ursprünglich emmetropischen Auge eine nur um 1,5 oder $^3/_2$ D höhere Refraktion, d. h. um **$^3/_2$ D** geringere H haben, also eine H = 10 − $^3/_2$ = 8,5. Das Auge mit ursprünglicher M = 3,0 hat also durch die Linsenentfernung eine Refraktionsverminderung um 11,5 D (= 10 + $^3/_2$) erfahren.

Das Verhältnis der beiden Augen zu einander vor und nach der Linsenentfernung läßt sich am besten durch ein einfaches Schema veranschaulichen, in welchem R_1 die Refraktion des Vollauges, R_2 die Refraktion des aphakisch gemachten Auges (in Dioptrien der im Brillenabstand korrigierenden Gläser ausgedrückt), R V die durch die Linsenentfernung bewirkte Refraktionsverminderung bedeuten:

	R_1	R_2	RV
Normale Achsenlänge	E	+ 10,0	10,0
1 mm Achsenverlängerung	– 3,0	+ 8,5	11,5

Ganz entsprechend wird ein Auge, dessen Achse um **2** mm länger ist als die des Normalauges, mit Linse **M** = **6,0** haben und ohne Linse $H = 10 - 2 \cdot {}^3/_2 = 10 - {}^6/_2 = 7$ D. Die Refraktionsverminderung durch die Linsenentfernung beträgt hier also 13 D. Also kann man ganz allgemein sagen: ein Auge mit einer ursprünglichen Myopie = M_1 wird nach Entfernung der Linse mit $10 - {}^1/_2 M_1$ zu korrigieren sein, was wir nach Hirschberg durch die allgemeine Formel ausdrücken:

$$R_2 = 10 - {}^1/_2 M_1.$$

Es wird dann z. B. bei $M_1 = 20 \text{ D} : R_2 = 10 - {}^{20}/_2 = 0$, d. h. ein (achsen-) myopisches Auge von **20 D** wird durch Linsenentfernung gewöhnlich emmetropisch gemacht, die RV beträgt hier 20 D. Für $M_1 = 24$ D wird $R_2 = -2$ D, d. h. es bleibt noch eine M von 2 D übrig, RV beträgt 22 D.

Analog wird bei ursprünglicher $H = H_1$ die nach Linsenentfernung zu erwartende Refraktion

$$R_2 = 10 + {}^1/_2 H_1,$$

was man direkt aus der für die M aufgestellten Formel ableiten kann, indem man H als „negative M" betrachtet, also $- M_1$ durch $+ H_1$ ersetzt.

Die Refraktionsverminderung durch Linsenentfernung ist ferner natürlich auch erheblicher oder geringer, wenn der Brechwert der Linse größer oder kleiner war als der Durchschnittswert. Dagegen fällt sie bei stärkerer Hornhautkrümmung sowie bei zu großer Kammertiefe etwas geringer, bei schwächerer Hornhautkrümmung sowie bei zu geringer Kammertiefe etwas größer aus, da in den beiden ersten Fällen der Einfluß der Linse auf die Gesamtbrechkraft des Auges verhältnismäßig geringer, in den beiden letzten Fällen größer ist. Diese Abweichungen machen indes verhältnismäßig wenig aus, wie Bjerke gezeigt hat.

Hinsichtlich der Wirkung der korrigierenden Gläser auf die Netzhautbildgröße bei Aphakie s. S. 148.

Brillenverordnung bei Aphakie.

Da ein aphakisches Auge keine Akkommodation, also eine bestimmte unveränderliche Einstellung hat, so bekommt es bei H stets volle Korrektion für die Ferne, und für die Nähe einen der erforderlichen Distanz entsprechenden Zusatz, ganz wie ein absoluter (70jähriger) Presbyope mit gleicher H (s. bei Presbyopie S. 106). Z. B. ein star-

operiertes Auge mit + 10,0 braucht, um in 33 cm bequem lesen zu können, einen zur optischen Einstellung auf diesen Abstand nötigen Zusatz von + 3,0, also eine Nahbrille von + 13,0. Auch ein bei Aphakie etwa noch myopisches Auge (bei ursprünglicher M von mehr als 20 D) wird entsprechend den Regeln für einen 70jährigen Presbyopen mit gleicher Refraktion korrigiert.

Trotz des Mangels der Akkommodation hat ein aphakisches Auge oft einen gewissen Spielraum deutlichen Sehens, eine scheinbare Akkommodation. Dies ist besonders dadurch bedingt, daß die Zerstreuungskreise auf der Netzhaut die Bilddeutlichkeit noch nicht merklich stören, wenn das optische Bild des gesehenen Gegenstandes der Netzhaut sehr nahe liegt, namentlich bei kleinem Öffnungswinkel der in den Glaskörper eingetretenen Strahlenbündel (s. I. Teil, S. 51, Fußnote), wofür nicht bloß eine geringe Pupillenweite, sondern auch eine große Achsenlänge des Auges günstig wirkt. Außerdem kann infolge bestimmter Aberrationsverhältnisse der Hornhaut die Bilddeutlichkeit des Netzhautbildes für einen gewissen Spielraum des Objektabstandes im wesentlichen unverändert bleiben (s. Aberration S. 138); die Aberration hat so unter Umständen sogar einen gewissen Vorteil. Dank diesen Umständen genügt dem Aphakischen meist eine Nahbrille; nur gewisse Berufe (z. B. Tischler, Schuhmacher) erfordern neben der Lesebrille noch eine etwas schwächere Brille.

Sind bei einseitiger Aphakie beide Augen leistungsfähig, so wird das für den jeweilig geforderten Abstand tauglichere Auge nach den gegebenen Regeln korrigiert; das andere Auge bekommt nur dann auch eine entsprechende Korrektion, wenn Binokularsehen dadurch erreicht wird und das Glas zusagt.

II. Spielraum der optischen Einstellung (der Refraktion im weiteren Sinne oder dynamischen Refraktion):

Akkommodation.

1. *Physiologie der Akkommodation.*

α) Der Akkommodationsvorgang.

Akkommodation ist die Fähigkeit des Auges, sich innerhalb gewisser Grenzen nacheinander auf verschiedene Abstände optisch einzustellen. Dies geschieht durch Änderung

der Brennweiten des Auges mittels Änderung der Linsenwölbung. Zunahme der Linsenwölbung, und damit Erhöhung der Refraktion, wird durch Kontraktion eines Muskels, des Ciliarmuskels, bewirkt, Abnahme der Linsenwölbung durch Erschlaffung dieses Muskels.

Der Mechanismus der Akkommodation ist nach der Erklärung von v. Helmholtz, deren Richtigkeit in der Hauptsache durch die Untersuchungen von Hess als genügend streng erwiesen gelten darf, folgender: In Akkommodationsruhe werden (durch die Aderhautspannung, wie nach Hess anzunehmen ist) die Zonulafasern und damit die vordere und hintere Linsenkapsel derart gespannt erhalten, daß die Linse vorn und hinten abgeplattet wird. Die Kontraktion des Ciliarmuskels bewirkt, wie die Versuche von Hensen und Völckers gezeigt haben, eine Annäherung der Ursprungsstellen der Zonulafasern an ihre Ansatzstellen auf der Linsenkapsel, damit eine Verminderung und schließlich Aufhebung des Zonulazuges an der Linsenkapsel, infolgedessen kann die Linse ihrem elastischen Gleichgewichtszustand zustreben, was sich in stärkerer Wölbung der vorderen und hinteren Linsenfläche äußert.

Tscherning hat indes gezeigt, daß die Linse bei der Akkommodation nicht, wie v. Helmholtz sich ausdrückte, der Kugelgestalt zustrebt, sondern daß eine stärkere Wölbung vorwiegend oder ausschließlich an den Polen der Linse auftritt, während die Krümmung nach dem Äquator zu wenig oder nicht zunimmt, ja sogar für eine gewisse Zone der Linse flacher werden kann.

Diese Thatsache läßt sich mit dem Kern der Helmholtzschen Erklärung, der Wölbungsänderung durch Entspannung der Zonula bei der Akkommodation ganz wohl vereinigen, wenn man sich vorstellt, daß die Linsenfasern, soweit sie noch nicht sklerosiert sind, flache prismatische, über den Äquator der jeweiligen Schichtlage gebogene Schläuche darstellen, die unter dem bei Akkommodationsruhe, also bei Spannung der Zonula, am stärksten an den Polen (besonders dem vorderen) wirkenden Druck der Linsenkapsel eine elastische Spannung annehmen, wobei zugleich der fast flüssige Inhalt der Faserschläuche von den Polen weg mehr nach dem Äquator gedrängt wird. Die Linsenfasern wirken so ähnlich wie gebogene federnde Lamellen. Bei Verminderung der radiären Linsenkapselspannung durch Erschlaffung der Zonula streben die Faserschläuche, unter gleichzeitiger Verschiebung eines Teils ihres Inhaltes nach den Polen hin, ihrer (einer etwas gestreckteren Form entsprechenden) elastischen Gleichgewichtslage zu, soweit dies die nun unter keinem Einfluß äußerer Kräfte mehr stehende Kapselspannung zuläßt. So können bei der anatomischen Anordnung der Linsenfasern recht wohl die beiden Pole der Linse sich am stärksten wölben und die zwischen diesen und dem Äquator gelegenen Zonen relativ und zum Teil selbst absolut flacher werden. Zu dieser

Auffassung stimmt besonders die von Heine gefundene Ansammlung eines Eiweifskörpers von geringerem Brechungsindex am vorderen Pol bei der Akkommodationsstellung der Linse. Diese Substanzverschiebung durch geringere Kapselresistenz am vorderen Pol zu erklären (Heine) begegnet der Schwierigkeit, dass eine solche geringere Resistenz sich gerade bei Steigerung des Linsen-Innendruckes durch Zonulaspannung noch mehr geltend machen müsste.

β) Akkommodationsbreite.

Bei Akkommodationsruhe ist das Auge, wie wir schon gesehen haben, auf den fernstmöglichen Punkt, den Fernpunkt eingestellt; auf den nächstmöglichen Punkt, den **Nahpunkt,** stellt es sich durch möglichst starke Vermehrung der Linsenwölbung ein. Die bei der Einstellung auf den Nahpunkt stattfindende Brechkraft- und damit Refraktionserhöhung können wir der Brechkraft einer bestimmten Linse gleichsetzen, die vor die Hornhaut gesetzt, dieselbe optische Einstellung bewirken würde, wie die stärkstmögliche Linsenwölbung. Das hierdurch gegebene Maß der Refraktionserhöhung durch die Akkommodation nennen wir **Akkommodationsbreite.** (Streng genommen müßten wir uns diese die Refraktionserhöhung ausdrückende Linse am Ort der Hauptebenen angebracht denken und die Messung auf diesen Ort beziehen.)

Bei der Akkommodation handelt es sich also stets um eine wirkliche Änderung der Brechkräfte des Auges, während es sich bei den von E abweichenden Refraktionszuständen bei Akkommodationsruhe, den statischen Refraktionen, nur um eine Verschiedenheit des Verhältnisses zwischen Brechkräften (Brennweiten) und Achsenlänge des Auges handelt. Die Brechkräfte selbst bleiben uns aber ihrer wirklichen Größe nach auch bei der Akkommodation unbekannt, wenn wir nicht die optischen Konstanten des Auges im akkommodierten Zustande bestimmen.

Die Messung des Nahpunktsabstandes geschieht gewöhnlich durch Annäherung möglichst feiner (von dem geprüften Auge gerade noch gut erkennbarer) Leseproben, bis sie eben beginnen, etwas undeutlich zu werden; die Grenze des Deutlichsehens (vor dem Undeutlichwerden) ergiebt den Nahpunkt. Dieser wird so etwas zu nah gefunden, da sehr kleine Zerstreuungskreise die Netzhautbildschärfe noch nicht merklich beeinträchtigen. Man mißt also einen scheinbaren Nahpunkt, der dem Auge etwas näher liegt, als der wirkliche (Hess).

Genauer ist die Messung mittels des Scheinerschen Versuches:

Blickt man durch zwei dicht beieinander stehende punktförmige Öffnungen (mit Nadel gestochene Löcher in einem Kartenblatt) nach einem feinen leuchtenden Punkt, so erscheint dieser doppelt, sobald sich das Auge auf ihn nicht mehr genau optisch einstellen kann, da die beiden durch die Öffnungen gehenden Strahlenbündel nicht mehr genau auf dieselbe Stelle der Netzhaut fallen. Diese Methode giebt bei genauer Versuchsanordnung annähernd die Lage des wirklichen Nahpunktes. Auf diesem Prinzip beruhen einige der zur Bestimmung der Grenzen der optischen Einstellung dienenden Instrumente, sog. Optometer, so u. a. das Porterfield-Youngsche und das Stampfersche; die punktförmigen Öffnungen sind hier durch feine parallele Spalte ersetzt. Für die Praxis genügt im allgemeinen die sorgfältige Messung mittels möglichst feiner Leseproben.

Die Akkommodationsbreite können wir durch eine einfache Formel ausdrücken: bezeichnen wir in Dioptrien die Refraktion bei Einstellung auf den Fernpunkt (punctum remotum), also die statische Refraktion mit R, die Refraktion bei Einstellung auf den Nahpunkt (punctum proximum) mit P, so ist die Refraktionszunahme, also die Akkommodationsbreite **A**, gleich dem Unterschied dieser beiden Refraktionen:

$$A = P - R.$$

Wird der Nahpunktsabstand p in Centimetern gemessen, so ist die Nahpunktsrefraktion $P = 100 : p$ (bei Messung in Millimetern $= 1000 : p$); R wird durch die gewöhnliche Refraktionsbestimmung gefunden (s. S. 151) und hier ist natürlich im positiven Sinne (als positive Abweichung von E, vgl. S. 87) zu nehmen, wenn Myopie vorliegt, und im negativen Sinne (als negative Abweichung von E), wenn Hypermetropie vorliegt. P selbst ist stets positiv (oder höchstens = 0), so lange nicht absolute H vorliegt. Wird der Fernpunktsabstand r auch direkt in Centimetern gemessen, so ist natürlich $R = 100 : r$, die obige Formel kann dann auch in der Form geschrieben werden:

$$A = \frac{100}{p} - \frac{100}{r}.$$

Zur Illustration mögen einige Beispiele dienen:

1. **R** sei = **E**, **p = 12,5** cm, dann ist $P = 100 : 12{,}5 = 8{,}0$, $R = \frac{1}{\infty} = 0$, somit **A = 8,0 D.**

2. **R** = **M 2,0** d. h. = + 2,0, p = **10** cm, also P = 10 D, somit **A** = 10 − 2 = **8,0 D**.

3. **R** = **H 4,0** oder = − 4,0, p = 25 cm, also P = 4,0

A = 4,0 − (− 4,0) = **8,0 D**.

4. **R** = **H 9,0** = − 9,0, p sei nur mit Vorsetzen eines Konvexglases meßbar, und zwar mit + 5,0 gemessen = 25 cm, dann wäre P mit dem Konvexglas = 100:25 = 4,0, bei Abrechnung der Wirkung des Konvexglases + 5,0 also = − 1,0 (d. h. bei Nahpunktseinstellung ohne Glas liegt der Nahpunkt 1 m hinter dem Auge, es besteht auch bei Nahpunktseinstellung noch eine H = 1,0); dann ist

A = − 1,0 − (− 9,0) = + **8,0 D**.

Nicht bloß für den, der die Tücke des Vorzeichens fürchtet, sondern für jeden, dem die Bedeutung einer Formel nicht unmittelbar anschaulich ist, giebt es zur Bestimmung der A auch den einfachen Weg logischer Vorstellung, sowohl bei unmittelbarer Bestimmung des Nahpunktes, d. h. bei unbewaffnetem Auge, wie auch bei mittelbarer Messung unter Vorsetzen eines Brillenglases.

αα) Bei unmittelbarer Messung des Nahpunktes, ohne Vorsetzen eines Brillenglases, stellt die Nahpunktsrefraktion P die positive Abweichung von emmetropischer Ferneinstellung dar, also eine künstliche Myopie bestimmten Grades (gerade wie durch Vorsetzen eines Konvexglases vor ein emmetropisches Auge).

Ist das untersuchte Auge an sich emmetropisch, so drückt die Nahpunktsrefraktion zugleich die Akkommodationsbreite aus (vgl. Beispiel 1).

Ist das untersuchte Auge hypermetropisch, so hat es für die Nahpunktseinstellung um den Grad seiner H mehr Akkommodation aufgebracht, als ein emmetropisches Auge mit gleichem Nahpunkt, da der Hypermetrope schon zur Erreichung emmetropischer Ferneinstellung den Betrag seiner H durch Akkommodation zu kompensieren hat. Beim Hypermetropen wird also die A bestimmt, indem man zu der Nahpunktsrefraktion den Betrag der H hinzu addiert (vgl. das 3. Beispiel: 4,0 + 4,0 = 8,0).

Ein Myop dagegen hat zur Nahpunktseinstellung eine um den Betrag seiner M geringere Akkommodationsleistung aufzubringen, als ein Emmetrop mit demselben Nahpunkt, da der Emmetrop schon zu einer optischen Einstellung, die dem Fernpunktsabstand des Myopen entspricht, eine dem Grad dieser M entsprechende Akkommodationsleistung aufbringen muß.

Beim Myopen wird also die A bestimmt, indem von seiner Nahpunktsrefraktion der Betrag der M abgezogen wird (vgl. das 2. Beispiel: 10,0 – 2,0 = 8,0).

$\beta\beta$) Wird bei der Nahpunktsmessung ein Brillenglas vorgesetzt, so überlegt man zuerst, wie die Fernpunktsrefraktion durch Vorsetzen des Glases geändert wurde, ob dadurch künstlich emmetropische oder myopische Einstellung bewirkt wurde, oder noch Hypermetropie bestimmten Grades stehen blieb (vgl. die bezüglichen Ausführungen unter I). Der mit dem Glas gemessene Nahpunktsabstand tritt dann an Stelle des wirklichen Nahpunktsabstandes (durch das Brillenglas wird sowohl die Fernpunkts- wie die Nahpunktsrefraktion um den gleichen Betrag geändert) und die A wird weiterhin ganz nach den unter α angegebenen Regeln bestimmt.

Am einfachsten ist die Sache; wenn durch das vorgesetzte Glas gerade die Ametropie korrigiert, also E hergestellt wird, wie es gewöhnlich bei nicht presbyopischen Augen geschieht. Dann ist die dem gemessenen Nahpunktsabstande entsprechende Refraktion zugleich die Akkommodationsbreite.

Im presbyopischen Alter prüft man den Nahpunkt gewöhnlich mit dem Glas, das der Untersuchte voraussichtlich zum Lesen oder sonstiger Naharbeit braucht (s. unter Presbyopie, S. 106); der Emmetrop wird also dem vorgesetzten Konvexglas entsprechend myopisch gemacht, Hypermetropen werden durch bestimmte Überkorrektion entsprechend dem Betrage dieser Überkorrektion myopisch gemacht, bei geringer Myopie wird in höherem Alter ebenfalls noch ein Konvexglas vorgesetzt und dadurch die Myopie entsprechend erhöht.

Bei den oben gewählten Beispielen ist die Akkommodationsbreite, also die Refraktionserhöhung durch die Akkommodation, die gleiche, dagegen ist die Raumstrecke, innerhalb welcher vermöge der Akkommodation deutlich gesehen werden kann, d. h. das **Akkommodationsbereich** oder Akkommodationsgebiet, nach Lage und Größe sehr verschieden, weil es, wie leicht zu sehen ist, von der Fernpunktsrefraktion abhängt. Bei unserem ersten Beispiel reicht das Akkommodationsgebiet von ∞ bis 12,5 cm vor dem Auge; beim zweiten von einem Punkt 50 cm vor dem Auge bis auf 10 cm, beim dritten ist ein praktisch verwertbares Akkommodationsgebiet von ∞ bis auf 25 cm vor dem Auge vorhanden und außerdem noch ein rein theoretisches, nicht praktisch verwertbares, von 25 cm hinter dem Auge nach rückwärts bis ∞ (was der

Thatsache entspricht, daß dieses Auge noch mit einem Konvexglas von 4 D deutlich in die Ferne sehen kann). Das vierte Beispiel, der absolute Hypermetrop, hat ohne Glas überhaupt kein wirkliches Gebiet deutlichen Sehens, sein ganzes, rein theoretisches Akkommodationsgebiet erstreckt sich hinter dem Auge von 11 bis 100 cm nach rückwärts.

γ) Abhängigkeit der Akkommodationsbreite vom Lebensalter; **Presbyopie („Alterssichtigkeit“).**

Die A ist in gesetzmäßiger Weise vom Alter abhängig; durch allmähliche Verhärtung der Linsenschichten vom Kern nach der Rinde zu wird die Fähigkeit der Formveränderung der Linse allmählich immer geringer, ihre elastische Gleichgewichtsform nähert sich dabei mehr und mehr der bei Akkommodationsruhe bestehenden Form. Sobald durch Kontraktion des Ciliarmuskels die überhaupt noch mögliche Wölbungszunahme der Linse erreicht ist, kann auch durch gesteigerte Akkommodationsanstrengung keine weitere Refraktionszunahme bewirkt werden, die optische Wirkung der über dieses Maß hinausgehenden Ciliarmuskelkontraktion bleibt latent, was nach Hess als „latente Akkommodation“ oder „latente Ciliarmuskelkontraktion“ bezeichnet wird. Die Akkommodationsbreite entspricht also nur der manifesten, in der Wölbungsänderung der Linse zum Ausdruck kommenden Akkommodation, nicht der maximalen Ciliarmuskelkontraktion. Mit der zunehmenden Verhärtung der Linse wird ein immer größerer Teil der Akkommodation latent, und wenn die Linse gar keiner Änderung mehr fähig ist, ist die gesamte Akkommodation latent geworden.

Die Akkommodationsbreite ist bei allen Augen gleichen Alters im wesentlichen gleich, also unabhängig von der Fernpunktsrefraktion, nur bei höheren Graden von M findet man oft eine geringere, nicht dem Alter des Betreffenden entsprechende Akkommodationsbreite. Die folgende Tabelle giebt eine Übersicht über die Akkommodationsbreite von Jahrzehnt zu Jahrzehnt.

Alter	A	Alter	A
10 Jahre . . .	14,0 D	50 Jahre . . .	2,5 D
20 „ . . .	10 „	60 „ . . .	1,0 „
30 „ . . .	7 „	70 „ . . .	0 „
40 „ . . .	4,5 „		

Der 70jährige hat also überhaupt keine manifeste Akkommodation mehr, Nah- und Fernpunkt fallen bei ihm zusammen.

Mit der Abnahme der Akkommodationsbreite wird von einem gewissen Alter ab in gewöhnlicher Lese- und Arbeitsdistanz, d. h. in etwa 30 cm, nicht mehr deutlich gesehen werden können; für den Emmetropen tritt dieser Zustand gegen Ende der 40er Jahre auf, für den (nicht korrigierten) Hypermetropen früher, für den Myopen später, je nach dem Grade der Ametropie. Im allgemeinen tritt für den Emmetropen (und korrigierten Ametropen) das Bedürfnis einer Konvexbrille zum bequemen Nahesehen ein, wenn der Nahpunkt über 25 cm hinausrückt, also die Akkommodationsbreite unter 4,0 D sinkt. Wir bezeichnen die durch das Alter bedingte Abnahme der Akkommodationsbreite auf weniger als 4 D als **Presbyopie**, Alterssichtigkeit.

Vielfach wird die Presbyopie auch als der Zustand bezeichnet, bei dem der Nahpunkt infolge des Alters über 25 cm hinausrückt; da die Nahpunktlage stets zugleich von der Refraktion abhängt, läßt sich nach dieser Definition die Presbyopie überhaupt nicht bestimmt abgrenzen; es wird niemand z. B. einen 30jährigen Hypermetropen von 5 D als presbyopisch bezeichnen wollen, weil er ohne Glas in 25 cm nicht mehr deutlich sieht, während er mit 20 Jahren dies zwar noch konnte, aber doch schon zur Vermeidung von Ermüdung einer Brille bedurfte.

Nach der gegebenen Definition wird also jeder in der zweiten Hälfte der 40er Jahre presbyopisch, aber die praktischen Folgen der Presbyopie sind zugleich von der Refraktion abhängig.

Im Alter wird die Linse auch etwas flacher, so daß eine geringe Refraktionsverminderung eintritt; ein ursprünglicher Emmetrop bekommt so eine H bis zu etwa 1 D.

Brillenverordnung bei Presbyopie. Bei guter Sehschärfe giebt man durchschnittlich ein Glas, mit dem bei einem 50jährigen der Nahpunktsabstand 22 cm, bei einem 60jährigen 25 cm, bei einem 70jährigen 28—30 cm beträgt. Beim 50jährigen wird also die 2,5 D betragende A durch Konvex 2,0 künstlich auf 4,5 D gebracht, beim 60jährigen durch + 3,0 auf 4 D, der 70jährige wird mit + 3,5 auf 28 cm eingestellt.

Bei herabgesetzter S werden etwas stärkere Gläser gewählt; es ist aber im allgemeinen nicht geraten, den Nahpunktsabstand geringer als 20 cm zu machen (zur Vermeidung zu großer Konvergenzanstrengung); man giebt dann besser ein breites „Leseglas“ von etwa 6 D, das mit der Hand beim Lesen über die Zeilen geführt wird.

Beim Hypermetropen wird das die H korrigierende Glas um einen „presbyopischen Zusatz“ verstärkt, welcher der

presbyopischen Korrektion des gleichalterigen Emmetropen entspricht.

Ein Presbyope mit geringer **M** bekommt ein um den Betrag seiner M schwächeres Konvexglas als ein gleichalteriger Emmetrop. Ein Myop von 3,5—4 D und mehr braucht überhaupt nie eine „Altersbrille“.

2. *Verhältnis zwischen Akkommodation und Konvergenz.*

A. Das normale Akkommodations-Konvergenzverhältnis.

α) Dynamisches Gleichgewicht zwischen Akkommodation und Konvergenz (Orthophorie).

Jedem Akkommodationsimpuls ist an sich ein bestimmter Konvergenzimpuls zugeordnet. Bei absolut normalen Verhältnissen entspricht der akkommodativen Einstellung auf einen Punkt auch eine Konvergenz beider Gesichtslinien oder Blicklinien auf denselben Punkt (über den praktisch unwichtigen Unterschied zwischen Gesichtslinie und Blicklinie s. S. 241), so daß auch bei Verdecken eines Auges dessen Blicklinie ihre Richtung nicht ändert. Akkommodation und Konvergenz sind dann im „dynamischen Gleichgewicht“ miteinander, was auch als „Orthophorie“ bezeichnet wird; die Akkommodation- und Konvergenzeinstellung auf einen Punkt werden so mit der geringstmöglichen Innervationsanstrengung erreicht.

β) Spielraum des Akkommodations-Konvergenzverhältnisses: Relative Akkommodations- und Fusionsbreite.

Wären Akkommodations- und Konvergenzimpuls unveränderlich miteinander verknüpft, so wäre ein mit einer dynamischen Gleichgewichtsstörung Behafteter stets vor das Dilemma gestellt, entweder bei richtiger Einstellung beider Blicklinien, also unter Beibehalten des Binokularsehens, auf genaue Akkommodation, also auf scharfes Sehen, zu verzichten, oder aber die genaue optische Einstellung mittels der Akkommodation festzuhalten und das Binokularsehen preiszugeben, indem das eine Auge dem der Akkommodation zugeordneten, zu starken oder zu schwachen Konvergenzimpuls entsprechend nasal- oder temporalwärts an dem fixierten Punkt vorbei schielen würde. Zum Glück aber sind Akkommodation und Konvergenz bis zu einem gewissen Grad voneinander lösbar: für eine bestimmte Akkommodation hat die Konvergenz einen gewissen Spielraum, innerhalb dessen sie gesteigert und verringert werden

kann, was wir als **relative Fusionsbreite** (r F) bezeichnen, und eben so kann die Akkommodation bei bestimmter Konvergenz um einen gewissen Betrag gesteigert oder verringert werden, was wir **relative Akkommodationsbreite** (r A) nennen. Dadurch sind dynamische Gleichgewichtsstörungen zwischen Akkommodation und Konvergenz innerhalb gewisser Grenzen kompensationsfähig.

Die relative Akkommodationsbreite sowie die relative Fusionsbreite geben also beide einen Ausdruck für das Verhältnis zwischen Akkommodation und Konvergenz, nur von verschiedenem Standpunkte aus, indem im einen Falle der Spielraum der Akkommodation bei bestimmter Konvergenz, im anderen Falle der Spielraum der Konvergenz bei bestimmter Akkommodation Gegenstand der Betrachtung ist. Die erste Darstellung eignet sich im allgemeinen besser, wenn Störungen des dynamischen Gleichgewichts durch Störungen oder abnorme (nicht dem normalen emmetropischen Auge entsprechende) Inanspruchnahme der Akkommodation bedingt sind, die zweite, wenn sie durch Störungen oder Abnormitäten der Konvergenz bedingt sind.

Um das Verständnis dieser Verhältnisse zu erleichtern und später bei Besprechung der Bewegungsstörungen Wiederholungen zu vermeiden, müssen wir hier zum Teil auch die Physiologie der symmetrischen Augenbewegungen, d. h. die Konvergenz- und Divergenzbewegungen, berücksichtigen.

Wir bezeichnen die bei Konvergenz auf einen bestimmten Punkt mögliche Steigerung der Akkommodation als den positiven Teil der relativen Akkommodationsbreite, oder kurz als relative Akkommodationszunahme (r A z), und den Punkt, auf den die Augen bei dieser Akkommodationssteigerung optisch eingestellt sind, als relativen Nahpunkt; ebenso die bei bestimmter Konvergenz noch mögliche Verringerung der Akkommodation als negativen Teil der relativen Akkommodationsbreite oder als relative Akkommodationsabnahme (r A a) und den Punkt, auf den die Augen dabei eingestellt sind, als relativen Fernpunkt.

Wie Hess gezeigt hat, ist für jeden Konvergenzgrad bei einer und derselben Person die relative Akkommodationsbreite (sowohl in ihrem positiven wie ihrem negativen Teil) die gleiche, soweit sich die Akkommodationsänderungen im manifesten Akkommodationsgebiet abspielen. Die r A z muss bei Steigerung der Konvergenz von dem Moment an abnehmen, wo der relative Nahpunkt den absoluten Nahpunkt erreicht hat, also mit

diesem zusammenfällt, da er über diesen natürlich auch bei weiterer Steigerung der Konvergenz nicht hereinrücken kann. Ebenso muss die rAa bei Verringerung der Konvergenz abnehmen, sobald der relative Fernpunkt mit dem absoluten zusammenfällt.

Der bei einer bestimmten Konvergenz noch möglichen Akkommodationsanspannung entspricht umgekehrt auch eine bei dieser Akkommodationsanspannung mögliche Verringerung der Konvergenz (s. u.).

Legen wir als Maßstab für die Konvergenz den **Meterwinkel** (Mw) zu grunde, d. h. den Winkel, um welchen sich jedes Auge

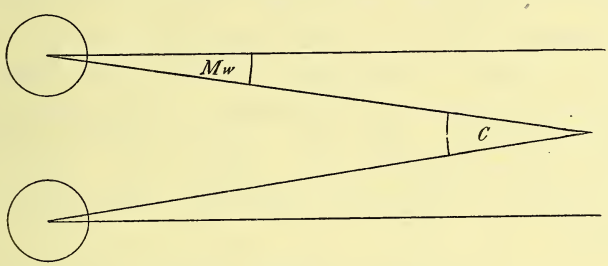


Fig. 41.

von der Parallelstellung der Blicklinien aus einwärts drehen muss, um einen 1 Meter von jedem Auge entfernten Punkt zu fixieren (s. Fig. 41 Mw)[1]; so haben wir für die Konvergenzgrößen ein der Akkommodationsbreite analoges Maß, indem bei Einstellung der Akkommodation und Konvergenz auf einen bestimmten Punkt für den Emmetropen die in Dioptrien ausgedrückte Akkommodationsgröße der in Meterwinkeln ausgedrückten Konvergenz entspricht; z. B. bei einer Einstellung von Akkommodation und Konvergenz auf einen 33 cm von jedem Auge entfernten Punkt beträgt die Akkommodation 3 D (für den Emmetropen), die Konvergenz 3 Mw. Der Konvergenzwinkel, d. h. der Winkel, den beide Blicklinien miteinander bilden, beträgt natürlich das doppelte; wir können ihn in doppelten Meterwinkeln (dMw = 3,5°) ausdrücken (s. Fig. 41 C). Kann nun bei Konvergenz auf diesen Punkt die Akkommodation (durch Vorsetzen von Konkavgläsern, s. u.) um 2 D gesteigert (rAz = 2 D), d. h. auf 5 D gebracht werden, so kann man auch

[1] Der Meterwinkel ist von der „Basallinie“ oder „Grundlinie“, d. h. der Distanz der Drehpunkte beider Augen voneinander, abhängig; beträgt diese 60 mm, so ist der Mw = 1° 43′, beträgt sie 64 mm, so ist der Mw = 1° 50′; man kann ihn durchschnittlich rund = 1° 45′ (= 1,75°) setzen.

sagen, bei Akkommodation jedes Auges auf 20 cm kann die Konvergenz auf 33 cm eingestellt werden, d. h. die der Akkommodation von 5 D entsprechende Konvergenz von 5 Mw kann (durch Vorsetzen von abduzierenden Prismen oder mittelst haploskopischer Vorrichtung, s. u.) um 2 Mw verringert werden, oder bei Akkommodation auf 20 cm ist eine relative Divergenz um 2 Mw, also eine Einstellung der Blicklinien auf einen „relativen Divergenzfernpunkt" von 33 cm möglich, die **„relative Divergenzbreite"** (r D) beträgt (bei Akkommodationseinstellung auf 20 cm) 2 Mw. Ist bei Konvergenz auf 33 cm auch eine r A a um 2 D möglich (durch Vorsetzen von Convexgläsern, s. u.), kann also bei dieser Konvergenz die Akkommodation auf 1 D herabgesetzt werden, so kann auch umgekehrt bei Akkommodation von 1 D, also auf 1 Meter, mittelst adduzierender Prismen oder Haploskops eine Konvergenzsteigerung um 2 Mw aufgebracht werden, die **relative Konvergenzbreite** (r K) beträgt (bei Akkommodation auf 1 m) 2 Mw, der „relative Konvergenznahpunkt" entspricht dann einer Konvergenz von 3 Mw, also 33 cm.

Der absolute Konvergenznahpunkt oder Fusionsnahpunkt ist der Punkt, auf den die Blicklinien bei der größten überhaupt möglichen Konvergenz eingestellt sind; der absolute Divergenzfernpunkt oder Fusionsfernpunkt ist der Schnittpunkt der Blicklinien bei größtmöglicher Divergenz; dieser liegt hinter dem Auge und wird daher durch negative Meterwinkel, sozusagen als „negativer Fusionsfernpunkt" ausgedrückt. Die größtmögliche Konvergenz von der Parallelstellung aus ist die **absolute Konvergenzbreite**, die größtmögliche Divergenz die **absolute Divergenzbreite**, die Summe beider bildet die gesamte (absolute) **Fusionsbreite.**

Die von der Ruhestellung beider Augen aus mögliche Einwärtswendung heißt absolute „Adduktionsbreite", die von jener aus mögliche Auswärtswendung absolute „Abduktionsbreite". Wenn bei Ruhestellung die Blicklinien parallel sind, fällt die Adduktionsbreite mit der Konvergenzbreite, die Abduktionsbreite mit der Divergenzbreite zusammen.

Wie nun der positive und negative Teil der r A innerhalb des manifesten Akkommodationsgebietes gleich bleiben (s. o.), so bleibt auch für jede Akkommodationseinstellung die relative Divergenz und Konvergenz dieselbe, soweit der relative Divergenzfernpunkt und der relative Konvergenznahpunkt innerhalb des absoluten Divergenzfernpunktes und Konvergenznahpunktes, d. h. innerhalb der „ab-

soluten Fusionsbreite“ bleiben. Ist in unserem Beispiele etwa noch eine absolute Divergenz von 2 Mw möglich, so wird bei Akkommodationsruhe auch die relative Divergenz von 2 Mw noch ganz zur Geltung kommen können; ist aber überhaupt nur Parallelstellung der Blicklinien möglich, so wird bei Akkommodation = 0 natürlich auch keine relative Divergenz mehr möglich sein.

Die relative Konvergenz wird auch bei Akkommodation auf den absoluten Nahpunkt in der Regel noch voll zur Geltung kommen, da der absolute Konvergenznahpunkt meist erheblich näher liegt als der absolute Akkommodationsnahpunkt; sie erfährt hierbei sogar anscheinend eine plötzliche Zunahme bis zur absoluten Konvergenzbreite, da jetzt mit der weiteren Steigerung der Konvergenz (mittels Prismen oder haploskopischer Vorrichtung, s. u.) zwar wohl die Ciliarmuskelkontraktion noch weiter gesteigert wird, aber die Linsenwölbung keine Zunahme mehr erfährt, also kein Undeutlichwerden des Fixierobjektes mehr eintritt. Es darf deshalb auch die relative Konvergenzbreite nicht bei Nahpunktseinstellung gemessen werden, die Messung ist aber immerhin noch bei einer dem absoluten Nahpunkt nahekommenden Akkommodation möglich.

Wir können nun die Verhältnisse zwischen Akkommodation und Konvergenz graphisch veranschaulichen, s. Fig. 42. Auf der Abscissenachse *OMw* des rechtwinkligen Koordinatensystems sind die Maße für die Konvergenz in Meterwinkeln aufgetragen, auf der Ordinatenachse *OD* die Maße für die Akkommodation in Dioptrien.

Auf der Diagonale, der von Donders sogenannten „Konvergenzlinie“, liegt die Reihe der Punkte, für welche die Akkommodations- und die Konvergenzeinstellung gleiche Maßwerte haben; die zu solchen Punkten gehörigen Abscissen und Ordinaten drücken also solche Werte der Akkommodation und Konvergenz aus, welche von emmetropischen Augen bei symmetrischer Fixation (Fixationsobjekt in der Medianlinie) geleistet werden. Die zu bestimmten Konvergenzgraden gehörigen relativen Nahpunkte und Fernpunkte (d. h. die diesen entsprechenden Refraktionswerte) liegen dann, wie Hess gezeigt hat, auf zwei zur Konvergenzlinie parallelen Geraden (pp_1 in Fig. 42 repräsentiert die Linie der relativen Nahpunkte, rr_1 die der relativen Fernpunkte). Die zu irgend einem Konvergenzpunkt gehörige relative Nahpunktseinstellung wird also durch den Punkt bestimmt, in welchem die Ordinate jenes Punktes nach oben durch die Linie der relativen Nahpunkte geschnitten wird; die zugehörige relative Fernpunktseinstellung wird durch den nach unten gelegenen Schnittpunkt der Ordinate jenes Konvergenzpunktes mit der Linie der relativen Fernpunkte repräsentiert. In dem durch Fig. 42 hergestellten Beispiele ist rAz (der positive Teil der rA) = 3 D, rAa = 4 D.

Die Linie der relativen Nahpunkte reicht von der Ordinatenachse (resp., wenn noch Divergenzstellung möglich ist, von der dem absoluten Divergenzfernpunkt entsprechenden Ordinate) bis zu der Abscisse, die dem absoluten

Nahpunkt P entspricht; in unserem Beispiele erreicht bei einer Konvergenz von 6 Mw die relative Nahpunktseinstellung die absolute, bei noch stärkerer Konvergenz kann daher die relative Nahpunktsrefraktion nicht mehr über diese Abscisse hinausrücken, der positive Teil der rA nimmt ab und wird bei Konvergenz von 9 Mw = 0. Eine etwaige Steigerung der Ciliarmuskelkontraktion spielt sich weiterhin ganz im latenten Akkommodationsgebiete ab.

Die Linie der relativen Fernpunkte hat (bei Emmetropie) ihre untere Grenze an der Abscissenachse, ihr Schnittpunkt mit dieser entspricht dem Konvergenzgrad, bei welchem der relative Fernpunkt mit dem absoluten gerade zusammenfällt; bei noch geringerer Konvergenz muß der negative Teil der rA

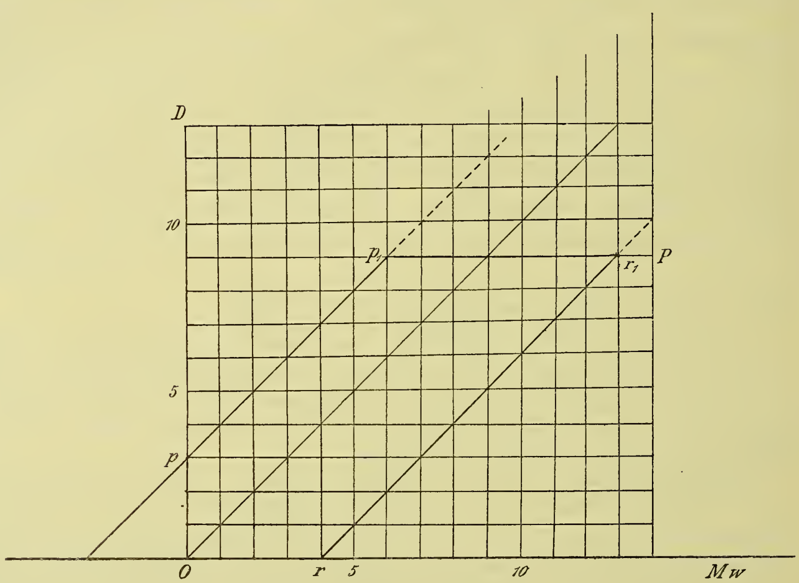


Fig. 42 (nach Hess).

abnehmen, da der relative Fernpunkt nicht über den absoluten hinausrücken kann. Ihre obere Grenze hat die Linie der relativen Fernpunkte auch an der Abscisse, die dem absoluten Nahpunkt entspricht; diese Grenze wird also bei einer Konvergenz erreicht, bei der auch die relative Fernpunktseinstellung mit der absoluten Nahpunktsrefraktion zusammenfällt (indem keine manifeste Akkommodationsverringerung mehr möglich ist), in unserem Beispiele also bei einer Konvergenz von 13 Mw. Diese optische Einstellung kann sich mit weiterer Konvergenz überhaupt nicht mehr ändern, so daß auch bei stärkster Konvergenz die Nahpunktsrefraktion P auf der durch p_1 gehenden Abscisse liegt, und relativer Fern- und Nahpunkt mit dem absoluten Nahpunkt zusammenfallen. (Bei den üblichen Messungsmethoden wird allerdings bei stärkster Konvergenz die Nahpunktsrefraktion noch etwas höher gefunden, vor allem infolge der die Zerstreuungskreise verkleinernden Pupillenverengerung, so daß dann

die absolute Nahpunktsrefraktion *P* bei stärkster Konvergenz nicht auf der durch p_1 gehenden Abscisse, sondern etwas höher liegt.)

Das Diagramm veranschaulicht zugleich das Verhalten der rK und rD, wenn man die Diagonale als Repräsentantin der Akkommodationswerte betrachtet. Was vorher die Linie der relativen Nahpunkte war, wird nun die Linie der relativen Divergenzfernpunkte (die in unserem Beispiel über die Ordinatenachse nach links bis zur Abscissenachse reichen würde, wenn die absolute Divergenzbreite gleichfalls 3 Mw betragen würde), und was vorher die Linie der relativen Fernpunkte war, wird nun die Linie der relativen Konvergenznahpunkte.

B. Prüfung des Akkommodations-Konvergenzverhältnisses.

α) Prüfung der relativen Akkommodationsbreite.

Die Prüfung der rA hat bei normaler absoluter A wenig praktische Bedeutung, da eine nach Korrektion einer Ametropie etwa noch vorhandene dynamische Störung dann bequemer durch den von Graefeschen Gleichgewichtsversuch und durch Bestimmung der relativen Fusionsbreite geprüft wird. Sie kann aber bei Beschränkung der absoluten A diagnostisch wichtig werden (s. u.).

Bei jüngeren Personen (bis zu etwa 30 Jahren) prüft man am besten bei Konvergenz auf etwa 30 cm, bei älteren (von 30—45 Jahren) bei Konvergenz auf 50 cm (um noch genügend manifestes Akkommodationsgebiet nach der positiven und negativen Seite zur Verfügung zu haben), bei noch älteren Personen wird besser die relative Konvergenz und Divergenz gemessen, da diese durch das Alter nicht wesentlich beeinträchtigt wird.

Man läßt im Prüfungsabstande eine feinstmögliche Druckprobe fixieren und setzt — nach Ausgleich einer etwaigen Anisometropie — binokular successive stärkere Konkavgläser vor, bis die Sehprobe anfängt, undeutlich zu werden. Das stärkste Konkavglas, bei dem die Probe noch scharf erschien, giebt in Dioptrien die rAz an. Ganz entsprechend ergiebt das stärkste Konvexglas, mit dem die Probe noch scharf gesehen wird, rAa. (Diese Methode genügt im allgemeinen für das praktische Bedürfnis; für wissenschaftliche Zwecke bedarf es exakterer Methoden.) Bei größeren Refraktionsunterschieden beider Augen, sowie bei wesentlicher Herabsetzung der S eines Auges prüft man besser die relative Fusionsbreite, deren Besprechung wir hier anschließen.

β) Prüfung der relativen Fusionsbreite.

Durch die Prüfung der relativen Konvergenz und Divergenz kann die Prüfung der rA kontrolliert und unter gewissen Um-

ständen, besonders bei Presbyopie, ersetzt werden. Die gewöhnliche Prüfung besteht in der Bestimmung der stärksten adduzierenden und abduzierenden Prismen, mit denen ohne Änderung des Akkommodationszustandes noch Einfachsehen möglich ist.

Setzt man vor beide Augen gleichstarke Prismen, z. B. von 5° mit Kante nach innen, so wird für jedes Auge das Bild des Fixierobjektes nasenwärts verschoben, s. Fig. 43: für das linke Auge nach A_l, für das rechte nach A_r. Das Fixierobjekt erscheint im ersten Augenblick in gekreuzten Doppelbildern, gerade wie wenn es dem Auge näher gerückt wäre; nun tritt aber (wenn die Bildverschiebung durch die Prismen keine zu große ist) sofort unwillkürlich eine Steigerung der Konvergenz, eine **„Adduktion“** beider Augen ein, bis beide Blicklinien wieder auf den durch die Prismen verschobenen Ort des Fixierobjektes gerichtet sind (s. Fig. 43). Die Blicklinien kreuzen sich jetzt in einem näher gelegenen Punkte A_l, sie sind also auf eine nähere Distanz eingestellt. Wegen der durch die Prismen hervorgerufenen Adduktion nennt man Prismen mit Kantenstellung nach innen (nasal) „adduzierende“ Prismen. Ganz entsprechend sind Prismen mit Kante nach außen (temporal) „abduzierende“ Prismen, weil sie durch Scheinbewegung des Fixierpunktes nach der temporalen Seite eine Abduktion der Augen veranlassen.

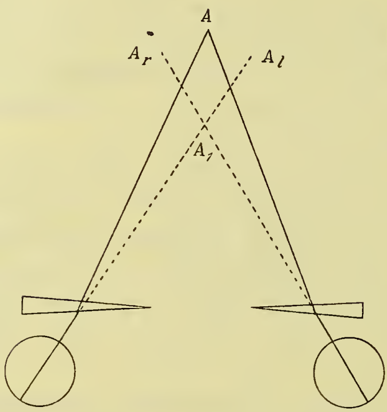


Fig. 43.

Bei Akkommodation auf bestimmten Abstand kann nun noch ein adduzierendes sowie abduzierendes Prisma von gewisser Stärke vor jedes Auge gesetzt werden, die Konvergenz also um den Ablenkungswinkel dieser Prismen gesteigert und verringert werden, ohne daß das Fixierobjekt merklich undeutlicher wird, d. h. also ohne daß der Akkommodationszustand sich merklich ändert; die relative Konvergenz wird durch die Summe der unter dieser Bedingung noch überwundenen adduzierenden Prismen bezeichnet,

die relative Divergenz durch die Summe der noch überwundenen abduzierenden Prismen.

Man kann die Prismen bei der Prüfung zunächst vor ein Auge setzen; der hierdurch ausgelösten Einwärtswendung nur des einen Auges, z. B. des linken, entspricht ebenfalls ein symmetrischer Konvergenzimpuls, nur ist dieser dann mit einem Rechtswendungsimpuls für beide Augen kombiniert, der die Einwärtswendung des rechten Auges gerade kompensiert, die des linken Auges dagegen verdoppelt.

Fig. 44 erläutert diesen Vorgang: der zuerst binokular fixierte Punkt *A* wird für das linke Auge durch das Prisma nach *A'* verschoben; stellt dieses seine Blicklinie nun auf *A'* ein, so kreuzen sich beide Blicklinien in *B*; diese Stellung der Blicklinie ist die Resultante aus zwei Bewegungsinnervationen: durch Rechtswendung beider Blicklinien bis zu dem in der Mitte zwischen *A* und *A'* gelegenen Punkt *C* dreht sich die „binokulare Blicklinie“ — die Linie von der Nasenwurzel nach dem Fixierpunkt, s. S. 240 — von der Stellung *M A* nach der Stellung *M B C* um den Winkel *A M C*, der gleich dem Drehungswinkel *A L C* und *A R C* der beiden Blicklinien ist. Durch symmetrischen Konvergenzimpuls werden weiterhin die beiden Blicklinien auf Punkt *B* eingestellt, für die Blicklinie des linken Auges kommt also zu dem Drehungswinkel *A L C* noch der gleichgroße Winkel *C L A'* hinzu, für die rechte Blicklinie wird der Drehungswinkel *A R C* gerade wieder aufgehoben. Die beiden Innervationen wirken natürlich gleichzeitig, man sieht aber doch gewöhnlich im ersten Augenblick nach Vorsetzen des Prismas eine kleine Seitwärtsbewegung beider Augen.

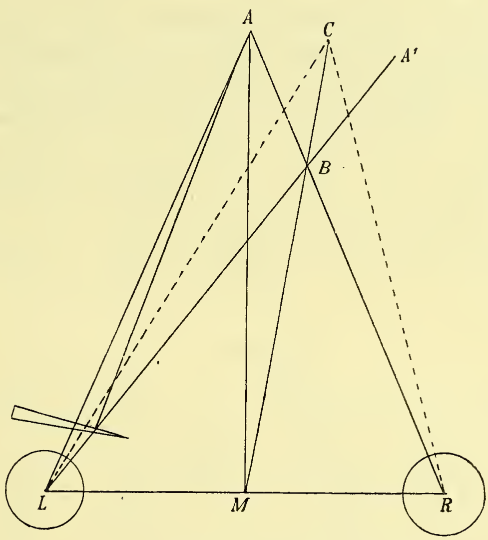


Fig. 44.

Wird die Grenze der relativen Konvergenz (oder Divergenz) schon durch ein Prisma erreicht, so ergiebt dieses den ganzen Konvergenzwinkel, d. h. den Winkel, den beide Blicklinien miteinander bilden (s. o. S. 109). Will man die relative Konvergenz in Meter-

winkeln ausdrücken, so muß der Ablenkungswinkel des gefundenen Prismas (der halbe Kantenwinkel) mit 3,5 (= 2 · 1,75) dividiert werden (s. S. 109). Sobald Prismen von mehr als etwa 16° (Kantenwinkel) erforderlich sind, ist es zweckmäßiger, die Wirkung auf beide Augen zu verteilen; man setzt dann vor das eine Auge Prisma 16° in einem Brillengestell und hält vor das andere Auge noch successive stärkere Prismen. Auch hierbei ist die Prismenleiter sehr bequem.

Als Fixierobjekt benutzt man zweckmäßig ein Kreuz mit dicken Armen und einem feinen Strich neben dem einen Arme zur Kontrolle der Akkommodation, dieser Strich ist hier horizontal zu stellen, damit er nicht durch die horizontal wirkende (also an vertikalen Linien sich geltend machende) Farbenzerstreuung der Prismen undeutlich erscheint. Auch die astigmatische Wirkung stärkerer Prismen stört dann weniger. Schnellers Sehproben enthalten ein solches Kreuz.

Die Prüfung der relativen Fusionsbreite mittels Prismen ist im

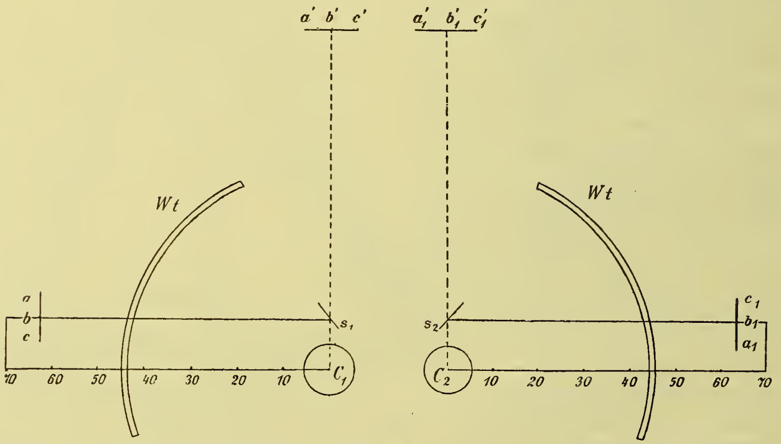


Fig. 45.

allgemeinen nicht sehr genau, sie bedarf großer Sorgfalt von seiten des Arztes und einer gewissen Beobachtungsfähigkeit seitens des Patienten.

Genauere Resultate, wie sie für wissenschaftliche Zwecke erforderlich sind, erhält man mittels des von Hering angegebenen Haploskops, das eine Art Spiegelstereoskop darstellt und für jede bestimmte Akkommodation eine beliebige Änderung der Konvergenz ermöglicht und außerdem sehr bequem zur Bestimmung der absoluten Konvergenz- und Divergenzbreite ist.

Vor jedem Auge ist ein kleiner senkrecht stehender, gegen die Blicklinie

um 45° auswärts gedrehter Spiegel (metallener Kehlkopfspiegel oder total reflektierendes Prisma; Glasspiegel sind wegen des doppelten Reflexes von beiden Oberflächen hier unbrauchbar) auf je einer um ihren Anfangspunkt drehbaren Zentimeterskala befestigt, deren Drehpunkt unter dem Kinn des Patienten, und zwar senkrecht unter dem Drehpunkt des entsprechenden Auges liegt, so daß die Spiegelchen s_1 s_2 bei Drehung der Skala um die Drehpunkte der Augen C_1 C_2 gedreht werden (s. Fig. 45). Jede Skala bildet mit der Ebene des von ihr getragenen Spiegelchens gleichfalls einen Winkel von 45°, also mit der Blicklinie des entsprechenden Auges einen Winkel von 90°. Die Distanz der Skalendrehpunkte voneinander kann der Drehpunktdistanz der Augen (Pupillendistanz) angepaßt werden. Jede Skala trägt einen verschiebbaren Rahmen mit geeignetem Fixierobjekt a, b, c und a_1, b_1, c_1 (Fadenkreuz aus feinen Coconfäden, wobei zur genügenden Anregung der Fusion zweckmäßig der obere oder untere Arm durch einen dickeren Strich ersetzt wird). Wenn die Skalen genau in einer Flucht liegen, müssen die auf die Spiegelbilder der Fixierobjekte gerichteten Blicklinien genau parallel sein. Durch Drehung der Skalen werden die Spiegelbilder nasal oder temporal um einen bestimmten Winkel verschoben, so daß eine diesem Winkel entsprechende Konvergenz oder Divergenz der Blicklinien zur Aufrechterhaltung des Einfachsehens erforderlich ist; die Drehung der Skalen und damit der Blicklinien wird auf einer Winkelteilung Wt abgelesen. Die ganze Vorrichtung ruht auf einer Marmorplatte. Bei Prüfung mit Fernpunktseinstellung werden zur völligen Entspannung der Akkommodation vor beide Augen Konvexgläser gesetzt (deren Brennweite beim Emmetropen dem Abstande des Fixierobjektes vom Auge entsprechen muß); dies ist auch bei Bestimmung der absoluten Divergenzbreite notwendig.

γ) Prüfung der absoluten Fusionsbreite.

Die absolute Konvergenzbreite wird durch Bestimmung der Lage des absoluten Fusionsnahpunktes (Konvergenznahpunktes) ermittelt, indem das Fixierobjekt den Augen in der Mittellinie so weit genähert wird, als es ohne Auftreten von Doppelbildern möglich ist. Wird der in Zentimetern gemessene Abstand des Fusionsnahpunktes von dem einen Auge (am besten von dem unteren Orbitalrande, welcher der Lage des Hauptpunktes annähernd entspricht) in 100 dividiert, so haben wir die Konvergenz jedes Auges in Mw; die Multiplikation dieser Zahl mit 3,5 (d Mw s. S. 109) ergiebt den Konvergenzwinkel in Winkelgraden.

Die Überschreitung des Konvergenznahpunktes ist gewöhnlich auch objektiv deutlich gekennzeichnet, indem das eine Auge plötzlich nach auswärts abweicht, so daß nur das andere Auge dem Fixierobjekt noch weiter durch Adduktion folgt (für die nun unter Aufgabe des Binokularsehens noch ein Seitenwendungsimpuls zu Hilfe genommen wird).

Die absolute Divergenzbreite wird durch das stärkste ab-

duzierende Prisma bestimmt, das bei Fixation eines fernen Objektes noch überwunden werden kann (bei erheblichem Divergenzwinkel ist die Prismenwirkung auf beide Augen zu verteilen). Auch mit dem Haploskop kann die absolute Fusionsbreite gut bestimmt werden.

C. Störungen des dynamischen Gleichgewichts. (Heterophorie.)

α) Typen der Gleichgewichtsstörungen.

Sehr oft finden wir Abweichungen vom dynamischen Gleichgewicht zwischen Akkommodation und Konvergenz. Der einem bestimmten Akkommodationsimpuls zugeordnete Konvergenzimpuls kann einer zu schwachen oder zu starken Konvergenz der Blicklinien entsprechen, so daß bei Ausschluß des einen Auges vom binokularen Sehakt die Blicklinie dieses Auges die des anderen, fixierenden, Auges in einem ferneren resp. näheren Punkte als dem Akkommodationspunkt schneidet, das vom Sehakt ausgeschlossene Auge nimmt gegenüber dem akkommodativ fixierten Punkt eine relative Divergenz- oder Konvergenzstellung ein, es schielt aus- oder einwärts. Tritt diese Abweichung nur bei künstlichem Ausschluß des einen Auges vom binokularen Sehen ein (durch Verdecken des Auges oder durch Vorsetzen eines Prismas oder eines zylindrischen Glasstabes; s. S. 119 u. 121), so bezeichnen wir sie als „dynamische" oder **„latente" Divergenz** (**1 D**) oder **Konvergenz** (**1 K**) (latentes Auswärts- oder Einwärtsschielen, „Exophorie" oder „Esophorie" nach Stevens); tritt sie aber schon von selbst auf, indem bei der betreffenden akkommodativen Einstellung ohnehin kein Binokularsehen besteht, so nennen wir es manifestes Auswärts oder Einwärtsschielen, Strabismus divergens oder convergens. Die zu einer bestimmten akkommodativen Einstellung im Interesse des Binokularsehens geforderte Konvergenz der Blicklinien entspricht also in solchen Fällen nicht dem direkt zugeordneten Konvergenzimpuls, es besteht eine „dynamische Gleichgewichtsstörung" zwischen Akkommodation und Konvergenz.

β) Prüfung der dynamischen Gleichgewichtsstörungen (der latenten Konvergenz und Divergenz).

Bei normaler (dem Alter entsprechender) absoluter Akkommodationsbreite kommt es in praktischer Hinsicht hauptsächlich darauf an, ob der für die gewöhnliche Arbeitsdistanz aufzuwendenden Akkommodation auch eine dieser Distanz entsprechende

Konvergenz zugeordnet ist, ob also eine latente Abweichung der Konvergenz vorhanden ist oder nicht. Man prüft das Verhalten der Konvergenz im allgemeinen am besten bei Akkommodation auf etwa 30 (oder 33) cm.

Erscheinen nach Berücksichtigung von Refraktion, Alter und Beschäftigungsart bestimmte Gläser zum Gebrauch für diese Distanz geboten (vergl. die Abschnitte über Brillenverordnung bei den einzelnen Refraktionen und bei Presbyopie), so werden diese Gläser bei der Prüfung vorgesetzt; man überzeugt sich so, ob bei der Arbeit mit der voraussichtlich zu verordnenden Brille keine Konvergenz- (oder Divergenz-) Beschwerden infolge Mißverhältnisses zwischen geforderter Akkommodation und Konvergenz zu fürchten sind. Dabei wird allerdings das Verhältnis zwischen Akkommodations- und Konvergenzimpuls nicht unmittelbar bestimmt, die zur Einstellung auf 30 cm wirklich aufgewandte Akkommodation ist erst auf Grund der durch das Glas künstlich veränderten Refraktion analog wie bei der Akkommodationsbreite zu berechnen.

Man läßt zunächst ein Objekt fixieren (z. B. einen Finger, oder — bei der unten beschriebenen Messung der Ablenkung — ein Kreuz mit dicken Armen und einer feinen Linie zur Kontrolle genauer Akkommodation wie bei der Prüfung der relativen Fusionsbreite, s. o.), und verdeckt ein Auge. Dieses nimmt dann eine Stellung ein, welche dem der Akkommodation zugeordneten Konvergenzimpuls entspricht. Ist dieser zu schwach, so geht das Auge unter der deckenden Hand nach außen; ist er zu stark, so geht es nach innen. Diese Abweichung zeigt sich deutlich, sobald man das Auge wieder frei läßt: war es nach außen abgelenkt, so macht es jetzt eine Einwärtsbewegung, um seine Blicklinie wieder auf das Fixierobjekt einzustellen; war es nach innen abgelenkt, so macht es eine entsprechende Auswärtsbewegung, im ersten Falle bestand eine latente Divergenz, im zweiten eine latente Konvergenz (vgl. auch den Abschnitt über Prüfung der Bewegungsleistungen.

Diese latente Ablenkung kann direkt gemessen werden mittels des v. Graefeschen Gleichgewichtsversuches. (Von der Größe der Ablenkung hängt es ab, ob etwa prismatische Brillengläser zu verordnen sind, sei es allein oder in Verbindung mit sonst etwa angezeigten Konvex- oder Konkavgläsern). Man setzt vor ein Auge ein Prisma von 10^0 oder 12^0 mit Kante unten (oder oben); diesem Auge erscheinen alle Gegenstände nach der Prismen-Kante zu verschoben (s. I. Teil S. 59, Kontrollierung der Kantenlage s. S. 60); das Fixierobjekt, das Kreuz, wird also doppelt gesehen, indem das mit dem Prisma bewaffnete Auge das Fixierobjekt an einer tieferen Stelle sieht. Bleibt nun die Konvergenz nach Vorsetzen des Prismas

unverändert, so erscheinen die beiden Kreuze genau übereinander, da auch in dem mit Prisma bewaffneten Auge das Netzhautbild des Kreuzes im vertikalen Netzhautmeridian liegt, nur aber etwas oberhalb der Fovea (wenn das andere Auge direkt fixiert), es wird daher auch im vertikalen Gesichtsfeldmeridian dieses Auges (und damit des binokularen Gesichtsfeldes) gesehen.

Weicht dagegen das bewaffnete Auge, beispielsweise das rechte, nach außen, temporal ab, so erscheint diesem das Kreuz nasal, also links von seinem vertikalen Gesichtsfeldmeridian. Da die vertikalen Gesichtsfeldmeridiane beider Augen subjektiv so lokalisiert werden, als ob sie in der Medianebene („medianen Blickebene“) zusammenfallen (vgl. S. 240), so wird das vom vertikalen Gesichtsfeldmeridian des rechten Auges nach links gelegene Objekt als ein zweites Objekt links vom Fixierpunkt (oder der Medianebene) gesehen. Eine scheinbare Abweichung des vom rechten Auge gesehenen Objektes nach links, also eine Kreuzung der Doppelbilder des fixierten Objektes, bedeutet somit eine Divergenzabweichung des Auges.

Umgekehrt muß bei Eintreten von Konvergenz das Objekt sich temporalwärts verschieben, gleichnamig zum Auge; d. h. gleichnamige Doppelbilder bedeuten eine Konvergenzabweichung des Auges.

Man mißt nun die Größe der latenten Ablenkung, indem man bei Divergenz vor das eine Auge successive stärkere Prismen mit Kante nach außen, temporalwärts, setzt (sogenannte „abduzierende“ Prismen, s. S. 114), bis die beiden Bilder genau übereinander stehen. (Durch Prismen mit Kante außen wird das für dieses Auge nach der gekreuzten, d. h. nasalen Seite abweichende Bild temporalwärts, also nach der Seite dieses Auges — „gleichnamig“ — verschoben). Es ist dabei gleichgültig, ob etwa das dem rechten Auge zugehörige Bild nach rechts, oder das dem linken Auge zugehörige Bild nach links verschoben wird, d. h. ob die abduzierenden Prismen vor das rechte oder vor das linke Auge gesetzt werden. Dasjenige Prisma, mit welchem die Bilder gerade übereinander gestellt werden, gleicht also die Divergenzablenkung des Auges aus, und man bezeichnet den Grad dieser Ablenkung gewöhnlich mit dem Kantenwinkel des ausgleichenden oder „korrigierenden“ Prismas (der wirkliche Ablenkungswinkel ist etwa halb so groß, s. I. Teil S. 59), und zwar gewöhnlich in abgekürzter Form, z. B. 1D = 6^0 Pr., d. h. es

besteht eine latente Divergenz = dem Ablenkungswinkel dieses Prismas, also von etwa 3 Winkelgraden.

Ganz entsprechend wird eine latente Konvergenz mit dem Kantenwinkel des adduzierenden Prismas (d. h. eines Prismas mit Kante nach innen) bezeichnet, welches die hier gleichnamigen Doppelbilder gerade über einander bringt.

Bei Prüfung auf 30 cm ist eine geringe 1 D bis etwa 6° Prisma sehr häufig und kann noch als physiologisch gelten. Bei stärkerer 1 D und bei 1 K für diesen Abstand ist auch das Verhalten für größere Entfernung, etwa 5 m, zu prüfen, wobei als Fixierobjekt am besten eine Lichtflamme dient.

Für die Prüfung auf größere Distanz eignet sich auch die Anwendung eines Glasstabes oder mehrerer dicht aneinander stehender Stäbchen nach MADDOX sehr gut. Dem Auge, vor das ein solches „MADDOXsches Stäbchen" gehalten wird, erscheint durch dessen hochgradige astigmatische Wirkung eine Lichtflamme in einen langen Lichtstreifen verzogen, und von sonstigen Gegenständen wird wegen der Verzerrung überhaupt nichts Deutliches wahrgenommen, so daß das Binokularsehen und damit die Fusion aufgehoben wird. Steht das MADDOX-Stäbchen horizontal vor dem Auge, so erscheint eine vertikale Lichtlinie, die zu der vom anderen Auge gesehenen Lichtflamme gekreuzt oder gleichnamig steht, je nachdem 1 D oder 1 K vorliegt; deren Grad wird durch das Prisma mit Kante außen oder innen bestimmt, das die Lichtflamme genau in den Lichtstreifen bringt. Das MADDOX-Stäbchen eignet sich besonders auch in Fällen von mangelhaftem oder fehlendem Binokularsehen; das schlechtere Auge muß nur wenigstens fähig sein, das Licht zu fixieren oder den Lichtstreifen durch MADDOX-Stäbchen wahrzunehmen.

Diese Messungen lassen sich sehr rasch und bequem mittels einer Serie von Prismen ausführen, die in einer Lamelle mit der Kante nach der einen Seite angeordnet sind, wie es schon mehrfach empfohlen wurde; ich benütze seit 13 Jahren eine solche „Prismenleiter", die 10 Prismen in Intervallen von 2° enthält und auf beiden Seiten nummeriert ist; die Länge beträgt vom Ende der Leiter bis zu der Nummer 2 gerade 30 cm, so daß der Abstand für die Prüfung auf diese Distanz mit der Prismenleiter selbst gemessen wird (kleine Distanzschwankungen während der Prüfung machen keinen wesentlichen Fehler).

Statt einer Prismenleiter kann man auch ein Doppelprisma nach HERSCHEL benutzen, das aus zwei mit der Kante entgegengesetzt gerichteten

Prismen von 10° besteht; die Prismen können durch Zahnradtrieb symmetrisch gedreht werden, bis die Kanten nach derselben Seite gerichtet sind; so können alle Grade von 0—20° durchlaufen werden, während die Kantenlage des aus der Kombination resultierenden Prismas unverändert bleibt. Der Winkelwert der Kombination wird durch einen Zeiger an einer Teilung angegeben.

Bei Drehung dieser Prismen vom Nullpunkte aus wächst der theoretische Kantenwinkel mit dem Sinus des Drehungswinkels, also im Anfange sehr rasch, so daß die Messung kleiner Winkel leicht ungenau wird. Jackson hat deshalb zwei symmetrisch drehbare Prismen von je 7,5° mit einem feststehenden Prisma von 15° kombiniert; jene gleichen durch volle Summierung ihrer Wirkung die Wirkung des feststehenden Prismas gerade aus, wenn sie beide mit ihrer Kante entgegengesetzt zu diesem liegen. Bei gegensinniger Drehung von dieser Lage aus nimmt ihre resultierende Wirkung mit dem Kosinus des Drehungswinkels ab, also im Anfange langsam, dann zunehmend rascher, bis jedes Drehprisma um 90° gedreht ist, so daß ihre Wirkung wegen entgegengesetzter Lage ihrer Kanten = 0 geworden ist; dementsprechend kommt die Ablenkungswirkung des feststehenden Prismas allmählich bis zu ihrem vollen Betrag zur Geltung. Bei noch weiterer Drehung geben die Drehprismen eine erst rasche, dann immer langsamer wachsende Resultante, die sich zur Wirkung des feststehenden Prismas addiert, so daß bei einer Drehung jener um je 180° alle drei Kanten nach derselben Seite liegen, also die maximale Wirkung von 30° erreicht ist.

Man kann auch nach Schiötz ein Lineal benutzen, das eine dem Prüfungsabstande entsprechende Winkelskala trägt und horizontal gehalten wird; das bei Vorsetzen des vertikal brechenden Prismas erscheinende zweite Linealbild verschiebt sich dann bei dynamischer Abweichung der Konvergenz gegen das erste nach links oder rechts, diese Verschiebung kann vom Patienten direkt abgelesen werden. Für einen Abstand von 28,6 cm entspricht 1 cm gerade zwei Winkelgraden, man kann daher für diesen Abstand nach dem Vorgang von Schiötz einen dicken horizontalen Strich mit einer Zentimeterteilung auf weißem Karton, oder auch ein gewöhnliches Zentimetermaß aus Holz benutzen; die Ablenkung beträgt also doppelt so viel Winkelgrade als Zentimeter. Zur Kontrolle genauer Akkommodationseinstellung müssen die Zahlen des Maßstabes hierbei sehr klein sein. Für einen Abstand von 5,75 m entsprechen 10 cm einem Winkelgrade, auch für diese Distanz ist daher eine nach Zentimetern geteilte Skala bequem anwendbar. Bis zu einer Winkelgröße von etwa 15° (= 30° „Prismenwinkel“!) bedingt der Unterschied zwischen dem Bogen und der durch das lineare Maß repräsentierten Tangente des Winkels keinen praktisch in Betracht kommenden Fehler. Man kann aber auch besondere „Tangentenskalen“ benützen, auf denen die Winkel entsprechend den Tangenten für den Prüfungsabstand eingetragen sind.

Zentimeter- oder Tangentenskalen sind besonders bei Verwendung des Maddox-Stabes bequem, indem die Stellung der Lichtlinie nach links oder rechts vom Nullpunkt der Skala vom Patienten sehr leicht angegeben werden kann.

Ist ein Mißverhältnis zwischen Akkommodation und Konvergenz festgestellt, so fragt es sich, ob die Gleichgewichtsstörung durch eine Abweichung von seiten der Akkommodation oder von seiten der Konvergenz bedingt ist, und welcher Art die Abweichung ist; Anhaltspunkte zur Beantwortung dieser Frage bieten die Lage des absoluten Fern- und Nahpunkts, die absolute Konvergenz- und Divergenzbreite, die relative Akkommodationsbreite und (oder) die relative Fusionsbreite, sowie etwaige Bewegungsstörungen der Augen. Wie weit diese Faktoren im Einzelfall diagnostisch in Betracht kommen, wird teils im nächsten Abschnitt, teils später besprochen.

γ) Ursachen der dynamischen Gleichgewichtsstörungen.

Die Störungen des Akkommodations-Konvergenzverhältnisses von seiten der Konvergenz werden bei den Störungen der Bewegungsleistungen berücksichtigt.

Von seiten der Akkommodation kann deren normales Verhältnis zur Konvergenz auf zweierlei Weise eine Störung erleiden, durch eine Verschiebung des gesamten Akkommodationsgebietes, also durch abnorme Fernpunktslage, d. h. durch Refraktionsanomalien, zweitens durch abnorme Beschränkung der Ciliarmuskelwirkung, also durch Verringerung der Akkommodationsbreite.

Von den Refraktionsanomalien wirken H und M in entgegengesetztem Sinne. Ein Hypermetrop muß für einen bestimmten Abstand stets um den Betrag seiner H mehr Akkommodation aufbringen als ein Emmetrop, er muß also für die Akkommodation einen verhältnismäßig stärkeren Innervationsimpuls aufwenden als für die Konvergenz, was bei der ohnehin schon erhöhten Anforderung die Neigung zur Ermüdung steigert. Die r A ist gegen die Konvergenzlinie so verschoben, daß der positive Teil kleiner, der negative größer ist als beim Emmetropen; ganz entsprechend ist auch die r D kleiner und die r K größer.

Die r Az und ebenso die r D kann (bei starker H) auch = 0 oder selbst negativ sein, indem bei binokularem Sehen die erforderliche Akkommodation noch knapp aufgebracht werden kann oder deutliches binokulares Sehen nur unter Zuhilfenahme von Konvexgläsern möglich ist. Im letzteren Falle besteht, solange die H nicht

korrigiert wird, gewöhnlich dauerndes Einwärtsschielen, indem im Interesse des Deutlichsehens auf das Binokularsehen verzichtet wird und dann die dem Akkommodationsimpuls zugeordnete Konvergenz eintritt, dadurch wird zugleich das Mißverhältnis zwischen beiden Impulsen beseitigt. Da hierdurch auch die Ermüdungsbeschwerden verringert werden, ist der Hypermetrop überhaupt zum Einwärtsschielen geneigt, sobald rD sehr gering oder = 0 ist, was außer von der H noch von den gleichzeitigen mechanischen Verhältnissen des Bewegungsapparates abhängt.

Durch Korrektion der H wird nicht bloß die Akkommodationsanstrengung überhaupt verringert, sondern auch deren dynamisches Verhältnis zur Konvergenz günstig beeinflußt, und so kann durch Konvexgläser nicht selten auch ein Einwärtsschielen beseitigt werden. Es kann aber auch nach Korrektion der H noch eine dynamische (latente) Konvergenz mit Ermüdungsbeschwerden, oder selbst manifestes Einwärtsschielen bestehen bleiben, dann liegt zugleich ein dynamisches Übergewicht der Recti interni („Insufficienz der Recti externi") oder eine abnorme Konvergenzruhelage (eine Stellungsanomalie) der Augen vor (s. Störungen der Bewegungsleistungen).

Anderseits kann aber nach Korrektion der H das Verhältnis zwischen Akkommodation und Konvergenz auch nach der anderen Seite verschoben sein, was sich durch Eintreten einer latenten Divergenz kundgiebt; dann liegt gleichzeitig eine Anomalie der Konvergenz vor.

Ein Myop hat für eine bestimmte Konvergenz innerhalb seines Akkommodationsgebietes um den Betrag seiner M weniger zu akkommodieren als ein Emmetrop, er hat also im Verhältnis zur Konvergenz nur eine geringe Akkommodation aufzuwenden und wird daher die Akkommodation nicht mehr viel verringern können, die **rAa** ist im allgemeinen verhältnismäßig gering, die **rAz** verhältnismäßig groß; ebenso ist bei bestimmter Akkommodation die **rK** verringert, die **rD** vergrößert (die gesamte rA und relative Fusionsbreite ist von der des Emmetropen nicht wesentlich verschieden). Unter sonst gleichen Bedingungen wächst die Verschiebung dieses Verhältnisses mit dem Grade der M. Ist die rK innerhalb des Akkommodationsgebietes (außerhalb desselben ist sie nicht meßbar) sehr gering oder = 0, so neigt der Myop zur Verringerung der Konvergenz durch Auswärtsschielen mit einem Auge, indem er auf das Binokularsehen zu Gunsten des nur wenig oder gar keine Akkommodation erfordernden Deutlichsehens verzichtet.

Da hierbei die der Akkommodation zugeordnete Konvergenz, d. h. eine relative oder absolute Divergenz, eintritt, werden dadurch Beschwerden durch Konvergenzanstrengung vermieden. Die r K kann auch innerhalb des ganzen Akkommodationsgebietes oder eines Teils desselben negativ werden, was natürlich stets mit manifestem Auswärtsschielen für die entsprechenden Fixationsabstände verbunden ist.

Korrektion der M (nach den üblichen Regeln) kann meist das Gleichgewicht zu Gunsten der Konvergenz genügend bessern und oft auch das Auswärtsschielen beseitigen. Bleibt aber auch nach voller Korrektion der M noch latentes oder manifestes Schielen bestehen, so liegt nicht bloß eine Verschiebung des Akkommodations-Konvergenzverhältnisses durch eine Refraktionsanomalie vor, sondern zugleich eine Stellungsanomalie (abnorme Ruhelage) oder eine Bewegungsstörung der Augen, worauf wir im dritten Hauptabschnitt zurückkommen.

Die Beeinflussung des Akkommodations-Konvergenzverhältnisses durch Akkommodationsstörungen wird bei diesen im nächsten Abschnitt besprochen.

Die Presbyopie führt an sich nicht zu einer dynamischen Gleichgewichtsstörung; wie nach den Untersuchungen von Hess anzunehmen ist, wird vom Presbyopen für die optische Einstellung innerhalb seines manifesten Akkommodationsgebietes kein merklich stärkerer Akkommodationsimpuls aufgewendet als im früheren Alter.

Eine geringe Einengung erfährt allerdings die relative Fusionsbreite mit dem Alter — und damit auch die r A innerhalb des manifesten Akkommodationsgebietes —, wenigstens beim Emmetropen, der zur Übung der Fähigkeit, seine Akkommodation von der Konvergenz zu lösen, im allgemeinen keinen Anlaß hat, so daß diese Fähigkeit aus Mangel an Übung eine gewisse Einbuße erleiden kann (Hess); das Verhältnis zwischen negativem und positivem Teil, also auch das zwischen relativer Konvergenz- und Divergenzbreite, wird aber dadurch nicht geändert.

3. *Störungen der Akkommodation.*

Abgesehen von der als physiologische Erscheinung anzusehenden und deshalb schon bei der Physiologie der Akkommodation besprochenen Verringerung der Akkommodationsbreite mit dem Alter können Störungen der Akkommodation durch abnorme Spannung und Krampf sowie durch Lähmung des Ciliarmuskels, ferner durch abnorme Änderung der Form der Linse bewirkt werden.

α) Abnorme Akkommodationsspannung und Akkommodationskrampf.

Mit SCHMIDT-RIMPLER bezeichnen wir mit ersterem Ausdruck eine erhöhte Spannung des Ciliarmuskels, die auch beim Versuch möglichster Ferneinstellung bestehen bleibt, aber bei Aufgabe des Fixierens (im Dunkelzimmer beim Augenspiegeln) nachläßt (Hypertonus nach PFALZ). Von Akkommodationskrampf sprechen wir, wenn die Akkommodationsspannung auch im Dunkelzimmer wenig oder gar nicht nachläßt. Mit beiden Zuständen, zwischen denen indes keine scharfe Grenze zu ziehen ist, muß eine Beschränkung der (absoluten) Akkommodationsbreite (im Vergleich mit einem Gleichaltrigen) verbunden sein, da bei der subjektiven Refraktionsbestimmung statt des wahren Fernpunktes ein zu naher Fernpunkt, d. h. eine höhere als die wahre Refraktion gefunden wird. Ob die A wirklich durch Hereinrücken des Fernpunktes und nicht etwa durch Hinausrücken des Nahpunktes eingeschränkt ist, läßt sich bei der abnormen Akkommodationsspannung unmittelbar entscheiden, indem bei der Augenspiegeluntersuchung eine wesentlich schwächere (geringer myopische oder stärker hypermetropische) Refraktion gefunden wird. Anderenfalls sind weitere Hilfsmittel anzuwenden. Das sicherste ist die künstliche Akkommodationslähmung. Diese geschieht am zweckmäßigsten durch Einträufeln von 2—3 Tropfen einer 1 proz. Homatropinlösung;[1] nach etwa 25 Minuten ist auch die Ciliarmuskelspannung gewöhnlich völlig beseitigt. Jetzt muß aber die Refraktion wegen der starken Pupillenerweiterung unter Vorsetzen einer Blende von 4 mm Durchmesser geprüft werden, da sonst schon durch Mitwirkung der peripherischen Pupillenzonen eine schwächere Refraktion gefunden werden kann (s. unter Aberration S. 138). Ergiebt sich bei Anwendung dieser Vorsichtsmaßregel eine um mindestens 1 D schwächere Refraktion als zuvor, so ist abnorme Akkommodationsspannung anzunehmen (die Wirkung des normalen Tonus des Ciliarmuskels kann etwa 0,5 D betragen).

Bei höheren Graden von Akkommodationskrampf kann Homatropin ungenügend wirken; zwei Tropfen einer 1 proz. Atropinlösung beseitigen indes auch den stärksten Akkommodationskrampf, wie er z. B. durch ausgiebige Eserineinträuflung hervorgerufen wird und

[1] Die Homatropinwirkung geht in 12—24 Stunden vorüber, Atropin kann 8 Tage und länger nachwirken und macht gewöhnlich mindestens einige Tage arbeitsunfähig.

schon durch die erhebliche Refraktionserhöhung nebst starker Einschränkung oder gänzlicher Aufhebung der A und hochgradige Pupillenverengerung deutlich charakterisiert ist.

Große Wahrscheinlichkeit für Akkommodationskrampf liegt auch vor, wenn bei einer früheren Untersuchung eine schwächere Refraktion gefunden wurde; zur Sicherung der Diagnose sind aber andere Möglichkeiten einer innerhalb kurzer Zeit erworbenen Refraktionserhöhung (s. III. Teil, 1.) erst auszuschließen. Eventuell ist Homatropin anzuwenden.

Doppelseitiger Akkommodationskrampf läßt sich unter Umständen auch ohne künstliche Akkommodationslähmung wenigstens mit großer Wahrscheinlichkeit feststellen, und zwar durch Prüfung der r A oder r F: bei doppelseitigem Akkommodationskrampf ohne gleichzeitigen Konvergenzkrampf muß die r A a verringert und die r A z erhöht sein, ebenso wird die r K vermindert und die r D vergrößert sein. Ein solches Verhalten unterscheidet den Akkommodationskrampf von der Lähmung (vgl. S. 132). Eine etwaige M oder H ist bei dieser Prüfung zu korrigieren, da M die r A und r F in demselben Sinne beeinflußt wie der Akkommodationskrampf, H in entgegengesetztem Sinne, so daß sie die Wirkung eines Akkommodationskrampfes auf die r A und r F verdecken kann.

Liegt bei verminderter absoluter A zugleich eine die Konvergenzfähigkeit verringernde Stellungsanomalie oder Bewegungsstörung der Augen vor (s. im dritten Hauptabschnitt, Störungen der Bewegungsleistungen), so ist durch eine derartige Störung auch schon eine Verminderung der r A a und der r K bedingt, wodurch sogar eine in entgegengesetztem Sinne wirkende geringe Akkommodationslähmung überkompensiert werden könnte; eine Beschränkung der absoluten A bei gleichzeitiger Verminderung der r K weist also nur dann auf Akkommodationskrampf hin, wenn eine gleichzeitige Störung der absoluten Konvergenzfähigkeit auszuschließen ist.

Eine charakteristische Änderung der r A und der r F kann aber bei Akkommodationskrampf überhaupt ausbleiben, wenn dieser mit Konvergenzkrampf kombiniert ist. Verringerte absolute A mit Einwärtsschielen für die Ferne spricht aber an sich schon für Akkommodations- und Konvergenzkrampf, doch muß sicher sein, daß nicht etwa Divergenzlähmung vorliegt (eine solche könnte zufällig mit Akkommodationslähmung kombiniert sein und so ebenfalls zu Einwärtsschielen bei verringerter A führen). Sichere

Entscheidung wird auch hier die Homatropinanwendung bringen (vergleiche auch die Unterscheidung zwischen Konvergenzkrampf und Divergenzlähmung im dritten Hauptabschnitt).

Bei einseitiger Beschränkung der absoluten A ist gleichfalls ohne weiteres Akkommodationskrampf oder abnorme Akkommodationsspannung anzunehmen, wenn die Augenspiegeluntersuchung (im aufrechten Bild oder skiaskopisch) eine wesentlich schwächere Refraktion ergiebt als die subjektive Bestimmung; in solchen Fällen handelt es sich dann in Wirklichkeit aber nicht um einen einseitigen Akkommodationskrampf, sondern um das Auftreten einer Akkommodationsspannung oder eines Akkommodationskrampfes beider Augen beim Fixieren mit dem einen Auge. Dieser Zustand tritt zuweilen bei der Refraktionsprüfung auf, indem sich bei dem einen Auge die Refraktion während der Prüfung oder schon bei deren Beginn erhöht. Bei stereoskopischer oder haploskopischer Prüfung zeigt sich dann die Akkommodationseinstellung beider Augen als gleich. Derartige Fälle sind stets hysterischer Natur (wenn nicht Simulation in Frage kommt); das gilt auch, wenn bei Prüfung jedes Auges sich Akkommodationskrampf entwickelt, unter der deckenden Hand geht dann das andere Auge gewöhnlich in Konvergenzstellung. Am häufigsten wird einseitiger Akkommodationskrampf durch Medikamente hervorgerufen (Eserin, Pilocarpin), was natürlich nur dann diagnostisches Interesse hat, wenn das Medikament ohne Wissen des Arztes eingeträufelt wurde. Sehr selten ist einseitiger Akkommodationskrampf durch organische Störungen des Oculomotorius bedingt. Bei entzündlicher Reizung des Ciliarmuskels selbst ist der Akkommodationskrampf gewöhnlich nicht Gegenstand der Untersuchung.

Differentialdiagnostisch könnte außer der Akkommodationslähmung eine durch krankhafte Formveränderung der Linse verursachte Refraktionserhöhung in Betracht kommen, durch die ein Akkommodationskrampf vorgetäuscht werden kann; bei einer solchen (s. S. 136) wird aber durch Homatropin die Refraktion nicht wesentlich oder gar nicht vermindert, und meist wird auch die objektive Untersuchung die Ursache der Veränderung finden lassen (s. unter γ S. 136). Liegen Zeichen drohenden oder bereits vorhandenen Glaukoms vor, so darf künstliche Akkommodationslähmung nicht angewendet werden. In einem solchen Falle kann möglicherweise Eserin Aufschluß geben: tritt nach Eserineinträufelung, die eventuell ein paar Tage fortzusetzen ist, eine Verringerung

der Refraktion ein (nachdem der Eserinkrampf des Ciliarmuskels nachgelassen hat, also mindestens einige Stunden nach der letzten Einträuflung), so liegt nicht Akkommodationskrampf vor (wie irrtümlicherweise bei einer solchen Beobachtung schon angenommen wurde), sondern ein Vorrücken der Linse, die durch Eserinwirkung (Beseitigung des Glaskörperödems) wieder in ihre normale Lage gebracht wurde. (Auch der Ausschluß positiver sphärischer Aberration durch die noch länger als der Ciliarmuskelkrampf anhaltende Eserinmiosis kann Verringerung der Refraktion gegenüber der bei mittlerer Weite gefundenen Refraktion bewirken, vgl. S. 138.) Beschränkung der A geht bei Glaukom dem Vorrücken der Linse gewöhnlich schon voraus, als Ausdruck einer Ciliarmuskelparese.

Nach Feststellung eines Akkommodationskrampfes oder abnormer Akkommodationsspannung ist die Art der Störung zu bestimmen, ob sie rein funktionell, oder durch organische Erkrankung oder durch medikamentöse oder durch traumatisch-mechanische Wirkung bedingt ist.

Abnorme Akkommodationsspannung, bei der mit dem Augenspiegel die Refraktion wesentlich geringer gefunden wird als bei der subjektiven Prüfung, ist stets funktionell, auch wenn sie dem Grade nach als Krampf bezeichnet werden könnte. Dabei sind wieder zwei Formen zu unterscheiden. Die eine ist durch länger dauernde Anstrengung der Akkommodation oder durch gewohnheitsmäßige Anspannung derselben bei jedem Fixieren (bei H) bedingt. Diese in der Kindheit entwickelte „Einstellungsgewohnheit“ kann wohl nicht nur bei noch bestehender H, sondern auch, als dauerhafte Nachwirkung ursprünglicher H, bei E und selbst M sich noch geltend machen (Pfalz), analog der latenten H. Es ist weder Mikropsie noch Makropsie mit ihr verbunden; meist sind Ermüdungsbeschwerden („Asthenopie“) vorhanden, die durch Ausruhen oder Brille gewöhnlich bald verschwinden.

Die andere funktionelle Form ist die hysterische; sie ist gewöhnlich mit Mikropsie beim monokularen Sehen verbunden (Gegenstände, die in größerem Abstande liegen als der einem zu starken Akkommodations-Konvergenzimpuls entsprechende Einstellungspunkt, erscheinen verkleinert), ferner oft mit monokularem Doppelt- oder Mehrfachsehen, als Folge der fehlerhaften optischen Einstellung. Noch deutlicher ist der hysterische Charakter der Störung, wenn die Akkommodationssteigerung während der

Prüfung auftritt, worauf oben schon hingewiesen wurde. Die Erscheinungen können durch geschickte Suggestion meist rasch beseitigt werden. Zuweilen ist trotz des Akkommodationskrampfes gleichzeitig der Nahpunkt hinausgerückt, die Akkommodation und Konvergenz kann auf einen ganz bestimmten Abstand beschränkt sein, so daß gewissermaßen eine „Fixationsstarre“ besteht (dieser Ausdruck dürfte zweckmäßiger sein, als der von Königshöfer vorgeschlagene Ausdruck „Konvergenzstarre“, da dieses Wort auch gelegentlich für Unbeweglichkeit der Pupille bei Konvergenz gebraucht wird, und jener Zustand immer auch die Akkommodation mit betrifft). Dieser Zustand ist typisch hysterisch. Es besteht dann (wenigstens bei monokularem Sehen) Mikropsie für die ferner, Makropsie für die näher als der Fixationspunkt gelegenen Gegenstände.

Auf medikamentösen Akkommodationskrampf weist die Begleiterscheinung hochgradiger Miosis, dabei ist die r K im ganzen Akkommodationsgebiet = 0 oder selbst negativ, d. h. der Fixierpunkt wird nur bei (relativem) Auswärtsschielen (mit abduzierenden Prismen) scharf gesehen. Dementsprechend ist gewöhnlich auch erhebliche latente Divergenz vorhanden. Bei einseitigem medikamentösem Akkommodationskrampf ist diese latente Divergenz nur beim Fixieren mit dem betroffenen Auge ausgesprochen, während beim Fixieren mit dem anderen Auge zwar zufällig auch eine solche vorhanden sein kann, aber jedenfalls in erheblich geringerem Maße. Meist wird schon die Anamnese Aufschluß geben. Gewöhnlich ist Eserin- oder Pilokarpineinträuflung die Ursache; bei doppelseitigem Akkommodationskrampf ist aber im Zweifelsfall auch an Morphiumvergiftung zu denken, bei der auch in leichteren Fällen neben der Miosis ein geringer Akkommodationskrampf auftreten kann. Der medikamentöse Akkommodationskrampf ist ferner bei monokularem Sehen (weniger deutlich zuweilen auch bei binokularem) — im Gegensatz zum hysterischen Akkommodationskrampf — mit Makropsie verbunden, indem alle nicht innerhalb des Nahpunktes gelegenen fixierten Gegenstände zu groß erscheinen (da der optischen Einstellung bei der Fixation wegen des peripherisch bedingten Krampfes ein Akkommodations-Konvergenzimpuls für größere Entfernung entspricht, womit eine Vergrößerung des psychischen Netzhautmaßstabes verbunden ist, vgl. die Anmerkung S. 259). Diese Begleiterscheinungen sind auch dann deutlich ausgesprochen, wenn die Giftwirkung so gering ist, daß normale Fernpunktseinstellung

möglich, also die A nicht eingeschränkt ist (diese kann durch Hereinrücken des scheinbaren Nahpunkts infolge von Miosis sogar vergrößert erscheinen; früher wurde in der That meist angenommen, daß durch Eserin die A erhöht werde, was aber von Hess widerlegt wurde). Das ist dadurch bedingt, daß auch bei geringer Eserinwirkung jeder Akkommodationsimpuls eine sehr starke Ciliarmuskelkontraktion auslöst, so daß zur richtigen optischen Einstellung der Akkommodationsimpuls wieder nachlassen muss, womit auch eine Konvergenzverringerung und eine Vergrößerung des Netzhautmaßstabes verbunden ist.

Organisch bedingter Akkommodationskrampf gleicht seinem Charakter nach dem medikamentösen, er ist aber in der Regel von anderweiten, auf die zu Grunde liegende Erkrankung hinweisenden Erscheinungen begleitet. So sind bei direkter entzündlicher Reizung des Ciliarkörpers stets deutliche lokale Entzündungserscheinungen am Auge vorhanden („iritische Reizung“); bei intrakraniellen Erkrankungen, die zu einer Reizung des Okulomotorius oder seines vorderen Kerngebietes führen können, fehlt es gewöhnlich nicht an anderweiten Zeichen eines intrakraniellen Leidens.

Auch traumatischer, durch Kontusion des Augapfels hervorgerufener Akkommodationskrampf zeigt klinisch denselben Charakter, wie der medikamentöse und der organisch bedingte; gewöhnlich werden hier schon die Anamnese und eventuell sonstige Zeichen der Verletzung Klarheit geben.

Wo etwa noch Zweifel zwischen medikamentösem und organischem oder eventuell traumatischem Akkommodationskrampfe bestehen könnten, spricht das allmähliche Abklingen desselben sowie der Miosis schon im Laufe von etwa 24 (bis höchstens 48) Stunden für medikamentösen Krampf.

β) Akkommodationslähmung.

Akkommodationslähmung ist nur dann mit einer nachweisbaren Einschränkung der absoluten A verbunden, wenn der Ciliarmuskel die zum Maximum der Linsenwölbung erforderliche Kontraktion nicht mehr aufbringen kann (vgl. S. 105). Je älter der von einer solchen Lähmung Betroffene ist, um so stärker muß die Lähmung entwickelt sein, um sich noch in einem Hinausrücken des Nahpunktes bemerklich zu machen, und um so eher kann daher eine Parese der Akkommodation latent bleiben, indem nur die latente Ciliarmuskelkontraktion eine Einbuße erleidet, die manifeste Akkommodation aber noch nicht.

Hier kann indeß das Verhalten der relativen Akkommodations- und Fusionsbreite eventuell Aufschluß geben: die r A z und r D sind, für die Nähe geprüft, auch bei geringer organisch oder medikamentös bedingter Parese der Akkommodation auffallend gering im Verhältnis zur r A a und r K, die verhältnismäßig groß sind; das Mißverhältnis ist (zum Unterschied auch von dem Verhalten bei unkorrigierter H) in der Nähe des Fernpunktes gering und nimmt nach dem Nahpunkt hin erheblich zu (im Nahpunkt selbst darf natürlich die r A z nicht geprüft werden, s. o.).

Dem entspricht auch bei Akkommodation für die Nähe eine latente Konvergenz, wenn ursprünglich Gleichgewicht für diese Distanz bestand, resp., wenn vor der Lähmung latente Divergenz bestand, eine Verringerung der letzeren. (Dem durch die Parese geforderten stärkeren Akkommodationsimpuls entspricht auch ein zugeordneter stärkerer Konvergenzimpuls).

Eine einseitige (oder auf beiden Augen ungleich starke) Parese der Akkommodation verrät sich auch dadurch, daß bei Fixation mit dem von der Parese betroffenen Auge eine stärkere latente Konvergenz (oder eine schwächere latente Divergenz) gefunden wird, als bei Fixation mit dem guten oder weniger betroffenen Auge, wobei auf möglichst genaue optische Einstellung des fixierenden Auges mittels feinen Fixierobjekts zu achten ist. (Vgl. S. 116).

(Mittels Homatropin kann man diese Verhältnisse an sich selbst in verschiedenen Stadien der Lähmung studieren; ich konnte sie auch beim Ablauf einer Atropinlähmung bei gesunden Augen bestätigen.)

Akkommodationslähmung ist ohne weiteres anzunehmen, wenn eine Verminderung der absoluten A vorliegt, die mit akkommodativer oder mit allgemeiner Pupillenstarre (die vollständig oder unvollständig sein kann, s. S. 219) verbunden ist (vorausgesetzt, daß Glaukom durch Abwesenheit aller sonstigen Symptome desselben auszuschließen ist). Mydriasis ist dabei nicht immer vorhanden, es kann (durch Komplikation) selbst mäßige Miosis vorliegen, wobei aber sehr genau zu prüfen ist, ob nicht durch die bei der Miosis verringerte Bewegungsexkursion der Pupille eine unvollständige akkommodative oder allgemeine Starre vorgetäuscht wird (s. S. 235).

Die Verminderung der A genügt allein schon zur Diagnose der Akkommodationslähmung, wenn die Fernpunktsrefraktion vorher schon bekannt war und gleichgeblieben ist. Ist die Refraktion nicht von früher bekannt, so kommt auch Akkommodationskrampf, sowie die

Möglichkeit einer erworbenen Refraktionserhöhung in Frage. Das oben besprochene Verhalten der r A (resp. r F) und l K entscheidet für Akkommodationslähmung. (Bei erworbener Refraktionserhöhung dürfte — abgesehen von der schon objektiv erkennbaren Luxation der Linse in die Vorderkammer — das Akkommodations-Konvergenzverhältnis jedenfalls nicht in der Weise verändert sein, wie bei der Akkommodationslähmung. Untersuchungen hierüber liegen indes noch nicht vor.)

Die für die Akkommodationslähmung charakteristische Veränderung der r A und r F könnte durch eine zufällige Komplikation mit Konvergenzschwäche oder Konvergenzlähmung kompensiert werden; beim Fehlen jener charakteristischen Veränderung und sonstiger für Akkommodationslähmung sprechender Symptome (Pupillenstörungen!) wäre Akkommodationskrampf durch Homatropin auszuschließen oder nachzuweisen (s. o.), erworbene Refraktionserhöhung entweder durch objektive Untersuchung oder eventuell durch Eserineinträuflung, die bei Akkommodationslähmung eine der normalen Akkommodationsbreite entsprechende Nahpunkteinstellung bewirken müßte, während dies bei Refraktionserhöhung nicht der Fall wäre (genaue Prüfung!). Auf diese Hilfsmittel sind wir auch bei nur einäugigem Sehen angewiesen.

Die charakteristische Veränderung der r A fehlt ferner (oder ist wenigstens nicht genügend ausgeprägt) bei funktioneller, speziell bei der hysterischen Akkommodationslähmung, deren Diagnose indeß auch schon durch gewisse eigentümliche Erscheinungen erleichtert wird, worauf wir unten zurückkommen.

Der Art nach unterscheiden wir, wie beim Krampf, funktionelle Lähmungen, organisch bedingte, medikamentöse oder, allgemeiner gesagt, Giftlähmungen[1], und traumatische Lähmungen.

Die funktionelle Lähmung kann zunächst durch erschöpfende Krankheiten bedingt sein, indem die geschwächte Willensenergie den

[1] Wir verstehen unter Giftlähmungen die durch direkte Giftwirkung bedingten Leistungsstörungen ohne gleichzeitige Erkrankung des von der Lähmung betroffenen Organs; darunter fallen also sowohl medikamentöse Lähmungen (durch Einträufeln oder durch innerlichen Gebrauch), wie auch Lähmungen durch Vergiftungen, die in gleicher Weise wie innerliche Darreichung von Medikamenten wirken, so die Fleisch- und Wurstvergiftung, im Gegensatz zu der diphtheritischen und der alkoholischen Lähmung, bei denen es sich stets um einen durch das Gift hervorgerufenen, auch nach dessen Elimination noch länger andauernden Krankheitszustand der Nerven handelt.

mangelhaft ernährten Ciliarmuskel nicht mehr zu der für die maximale Linsenwölbung nötigen Kontraktion zu bringen vermag. Meist dürfte aber in solchen Fällen doch für einen kurzen Moment bei starker Willensanstrengung der normale Nahpunkt erreichbar sein, besonders bei älteren Leuten, bei denen ja eine verhältnismäßig geringe Kontraktion erforderlich ist (s. o.). Es handelt sich streng genommen nicht um eine Lähmung im eigentlichen Sinne des Wortes, sondern um eine einem hochgradigen Ermüdungszustand entsprechende Innervations- oder Muskelschwäche; die letztere spielt dabei wohl die geringere Rolle, indem durch Eserin stets noch Nahpunkteinstellung zu erzielen sein dürfte, doch fehlen noch Untersuchungen hierüber.

Bei hysterischer Akkommodationslähmung ist ferner oft (wenigstens bei monokularem Fixieren) für näher als der funktionelle Nahpunkt gelegene Gegenstände Makropsie vorhanden (als physiologische Folge der relativen Ferneinstellung, s. S. 259 Anmerkung), während im erhaltenen Akkommodationsgebiet selbst weder Makropsie noch Mikropsie besteht, im Gegensatz zu den organischen und medikamentösen Lähmungen, bei denen sich (mindestens bei monokularem Fixieren) Mikropsie im Akkommodationsgebiet geltend macht, die sich mit der Akkommodationsanstrengung steigert. Die hysterische Akkommodationslähmung zeigt auch oft ein auffallendes Schwanken des Grades bei aufeinanderfolgenden Prüfungen, besonders unter Zuhilfenahme suggestiver Beeinflussung; es gelingt hierdurch gewöhnlich, den normalen Nahpunkt zu erreichen. Wie oben schon erwähnt, kann hysterische Lähmung in der Form der „Fixationsstarre“ zugleich mit abnormer Akkommodationsspannung verbunden sein, wobei dann für jenseits des Einstellungspunktes gelegene Gegenstände Mikropsie, für diesseits gelegene Makropsie bestehen kann. Auch einseitig kann hysterische Akkommodationslähmung auftreten; im binokularen Sehen akkommodiert aber das betroffene Auge ebenso wie das andere, wie ich in einigen Fällen skiaskopisch nachweisen konnte. Subjektiv läßt sich das Vorhandensein guter Akkommodation entweder stereoskopisch feststellen, oder dadurch, daß man vor eine im Nahpunktsabstand des guten Auges gehaltene Leseprobe einen Bleistift hält, der beiden Augen verschiedene Schriftstellen verdeckt. Durch den Nachweis der guten Akkommodation beim binokularen Sehen ist die hysterische Natur der Störung ohne weiteres gesichert. (Simulation ist natürlich auszuschließen). Die hysterische Lähmung ist eben keine Lähmung im gewöhnlichen Sinne, sondern eine Willenslähmung oder besser eine Willenshemmung.

Bei beiden Formen der funktionellen Lähmung fehlt das für die anderen Formen, die Lähmungen im strengen Sinne, charakteristische Verhalten der **rA** und **rF**; die Konvergenz pflegt in ungefähr demselben Maße geschwächt zu sein, wie die Akkommodation.

Die häufigste Form der Akkommodationslähmung ist die organisch bedingte (wenn wir von der ärztlich absichtlich herbeigeführten Atropinlähmung absehen). Wodurch sie sich von der funktionellen Lähmung unterscheidet, haben wir schon bei dieser besprochen. Reine Giftlähmung ist auszuschließen, wenn die akkommodative Pupillenreaktion dabei normal ist. Bei gleichzeitiger Herabsetzung oder Aufhebung der akkommodativen Pupillenreaktion ist Giftlähmung ebenfalls unwahrscheinlich, wenn keine erhebliche Mydriasis vorliegt, und sicher ausgeschlossen, wenn durch geringe Dosen Pilokarpin (1 Tropfen einer 2proz. Lösung) deutliche Miosis und Refraktionserhöhung (Akkommodationskrampf) bewirkt wird. Einen direkten Hinweis auf organische Lähmung giebt gleichzeitige Lähmung äußerer vom Okulomotorius versorgter Muskeln.

Eine besondere Stellung nimmt die bei Prodromalglaukom vorkommende Parese des Ciliarmuskels ein; sie ist an sich schwer von der medikamentösen Lähmung abzugrenzen, da sie auch mit träger Reaktion der Pupille verbunden zu sein pflegt; von der nervös-organischen Form unterscheidet sie sich wie die medikamentöse durch mangelhafte Reaktion auf mäßige Pilokarpindosen. Anderweite Zeichen von Glaukom müssen hier auf die Diagnose leiten. Ist gleichzeitig die Linse nach vorn gerückt, so ist die Verminderung der A mit einem Hereinrücken des Fernpunktes verbunden, wie beim Akkommodationskrampf, mit dem aber die Glaukomparese sonst keine Erscheinungen gemein hat.

Direkte Giftlähmung ist, wie aus dem eben Gesagten erhellt, anzunehmen, wenn durch geringe oder selbst stärkere Dosen Pilokarpin oder Eserin keine oder nur eine geringe Verengerung der Pupille und Erhöhung der Refraktion (Akkommodationskrampf) bewirkt wird; sie ist ferner auch schon fast sicher, wenn totale Akkommodationslähmung mit absoluter Pupillenstarre und maximaler Mydriasis verbunden ist. Dasselbe Bild könnte zwar auch durch Kombination einer hysterischen Lähmung mit hysterischer spastischer Mydriasis bewirkt werden; wo diese Möglichkeit in Frage käme, müßte aber durch mäßige Eserindosen — auch wenn die Mydriasis dadurch nicht oder wenig beeinflußt würde — Akkommo-

dationskrampf bewirkt werden, der mindestens im zentralen Pupillengebiet nachweisbar sein müßte (subjektiv bei Vorsetzen einer Blende — vgl. o. S. 126 —, objektiv mit dem Augenspiegel im aufrechten Bild, mit dem man nicht selten im Zentrum der erweiterten Pupille eine höhere Refraktion findet als am Rand und als bei skiaskopischer Untersuchung); der Ciliarmuskel hat keinen Antagonisten.

Im übrigen kommen für die Giftlähmung zur Unterscheidung von der hysterischen Lähmung dieselben Gesichtspunkte in Betracht wie für die organische Lähmung.

Im wesentlichen dasselbe Verhalten wie die Giftlähmung zeigt die traumatische Lähmung der Akkommodation nach Kontusionen des Augapfels; anderweite Zeichen der Verletzung und Anamnese werden meist leicht Aufschluß geben (vgl. auch traumatische Mydriasis S. 238).

Daß hysterische Akkommodationslähmung außer in der oben besprochenen Form noch in einer zweiten Form vorkommen kann, die vollständig dem Charakter einer organisch bedingten Lähmung entsprechen würde, sei es mit oder ohne Beteiligung des Sphinkter iridis, — müssen wir so lange für unbewiesen erklären, als nicht durch momentane suggestive Beeinflussung einer solchen Lähmung (eventuell durch Hypnose) — die bei einem solchen Fall doch gelegentlich einmal gelingen müßte — deren hysterische Natur dargetan ist.

γ) Akkommodationsstörungen durch Formänderungen der Linse.

Zunahme der Linsenkrümmung kann durch Wasseraufnahme im Beginn der Starentwicklung und durch Lockerung der Zonula (Subluxation oder Ektopie der Linse) herbeigeführt werden; um die damit verbundene Refraktionserhöhung wird die A vermindert, da das erreichbare Krümmungsmaximum der Linse nicht gleichzeitig erhöht wird. Funktionell entspricht der Zustand dem einer vermehrten Akkommodationsspannung oder eines Akkommodationskrampfes, er unterscheidet sich aber von diesem dadurch, daß ein Mydriatikum die Fernrefraktion nicht vermindert.

Bei Luxation der Linse in die Vorderkammer sowie bei Aphakie (s. S. 96) fehlt die Akkommodation; der erste Fall bedingt starke Refraktionserhöhung, der zweite starke Refraktionsverminderung. Die Diagnose ist gewöhnlich objektiv leicht zu stellen.

bb) Abweichungen von der homozentrischen Refraktion. Aberration und Astigmatismus.

I. Aberration.

Der optische Apparat des menschlichen Auges hat im allgemeinen keine homozentrische Brechung. Für ein zur optischen Achse konzentrisches, in die Pupille eindringendes Strahlenbündel zeigen die an die Centralstrahlen sich anschließenden Zonen zunächst zunehmende sphärische Aberration (s. I. Teil S. 51), die nach der Peripherie hin wieder abnimmt, so daß, bei genügend weiter Pupille, für eine gewisse Zone die Aberration gerade wieder korrigiert und für die noch peripherischer gelegenen Zonen überkorrigiert (negativ) wird. In den peripherischen Zonen, die bei erweiterter Pupille in Betracht kommen, wird die Aberration gewöhnlich auch asymmetrisch, indem sie sich in der äußeren oder der oberen Hälfte der Hornhaut anders verhält als in der inneren oder der unteren — „Meridianasymmetrie“ (die eine besondere Form von Astigmatismus darstellt) —, oder astigmatisch im gewöhnlichen Sinn, indem die peripherischen Zonen einem Teil einer torischen Fläche entsprechen (s. I. Teil S. 35) — „Astigmatismus der Aberration“ (Gullstrand). —

Bei einer Pupillenweite von etwa 4 mm sind diese Abweichungen in der Regel noch nicht merklich, Gullstrand bezeichnet die dieses Gebiet umfassende Zone der Pupille als „optische Zone“.

Im Bereich der optischen Zone besteht positive Aberration, nahe der Grenze dieser Zone nimmt zwar die Aberration bereits ab, aber auch die Grenzstrahlen schneiden die optische Achse noch vor dem Brennpunkt der Centralstrahlen. Den Unterschied zwischen den äußersten und den Centralstrahlen nennt Gullstrand periphere Totalaberration. Tscherning und Gullstrand haben Methoden für den Nachweis der Aberration gegeben, der letztere hat gezeigt, wie auf entoptischem Wege die Aberration auch quantitativ zu bestimmen ist. Für die allgemeine Verwendung haben diese Methoden bis jetzt keine praktische Bedeutung. Die für die Praxis wichtigste Frage, ob durch nicht homozentrische Brechung peripherischer Zonen eine Herabsetzung der S bedingt ist, läßt sich leicht durch Vorsetzen einer Blende von etwa 2—3 mm Durchmesser entscheiden: wird dabei die S für einen Abstand im Akkommodationsbereich deutlich größer, so liegt eine optische Abweichung der peripheren Zonen vor. Eine drehbare Blechscheibe mit Blenden

verschiedener Größe ist gewöhnlich in den Brillenkästen enthalten; man kann auch einen vor das Auge gehaltenen Augenspiegel benutzen.

Bei weiter Pupille kann negative Aberration die Refraktion verringern, indem der dünnste Querschnitt des Strahlenbündels durch die schwächer gebrochenen Strahlen etwas nach hinten verschoben wird. Zugleich wird dabei die Lage des dünnsten Querschnittes und so die Refraktion ungenauer, so daß bei bestimmter Einstellung die Änderung des Objektsabstandes innerhalb gewisser Grenzen die Bilddeutlichkeit nicht merklich schädigt.

Hochgradige überkorrigierte (negative) Aberration findet man beim Keratokonus und Lentikonus, freilich zugleich stets mit erheblichem Astigmatismus. Auch durch Sklerose des Linsenkerns kann starke negative Aberration bedingt werden; das gebrochene Strahlenbündel kann hierbei aus zwei für sich annähernd konzentrischen Bündeln von verschiedener Brennweite bestehen (Szili).

Praktisch korrigierbar ist die Aberration nicht; beim Keratokonus können hyperbolisch geschliffene Konkavlinsen (Rählmann) bei richtiger Centrierung wohl nützen, aber nur für mittlere Blicklage.

II. Astigmatismus.

A. **Regelmäßiger Astigmatismus** liegt vor, wenn der Strahlengang eines nicht homozentrisch gebrochenen Strahlenbündels noch annähernd definierbar ist. Regelmäßiger Astigmatismus kommt beim Auge in drei Hauptformen vor; die praktisch wichtigste Form ist dadurch bedingt, daß (mindestens) eine der brechenden Flächen (gewöhnlich die Hornhaut) einer torischen Fläche entspricht (s. I. Teil S. 35). Bei dieser Form geht ein konzentrisch zur optischen Achse einfallendes Strahlenbündel nach der Brechung durch zwei senkrecht zu einander gelegene Brennlinien, deren Abstände von der Hornhaut (des vereinfachten Auges) den Brennweiten der Hauptschnitte entsprechen (s. I. Teil S. 37).

Die beiden Brennlinien eines an einer lichtsammelnden torischen Fläche gebrochenen Strahlenbündels sind in Wirklichkeit keine geraden Linien, sondern gekrümmt, und zwar konkav gegen die brechende Fläche. Gullstrand hat neuerdings näher dargelegt, daß ein Strahlenbündel von der Form des Sturmschen Konoids, wie es auch in Figur B auf Tafel I dargestellt ist, in Wirklichkeit überhaupt nicht möglich ist, und daß ein so konstruiertes Strahlenbündel nur eine grobe Annäherung an die wirkliche Form darstellt. Da auch bei astigmatisch gebrochenen Strahlenbündeln für die peripherischen

Strahlen noch Aberration in Betracht kommt, so ist die Form eines solchen Strahlenbündels in Wirklichkeit überaus kompliziert. So lange indeß nicht mit einer gründlicheren mathematischen Vorbildung der Ärzte gerechnet werden kann, wird sich eine für den Praktiker berechnete Darstellung auf möglichst einfache Vorstellungen beschränken müssen, wenn diese auch nur grobe Annäherungen an die physikalische Wirklichkeit darstellen.

Bei einem astigmatischen Auge kann man nicht schlechtweg von einer Refraktion sprechen, sondern nur von Refraktion der beiden Hauptschnitte.

Wir sehen einen Astigmatismus im allgemeinen als genügend bestimmt an, wenn wir die Lage und Refraktion der beiden Hauptschnitte, d. h. des stärkst- und schwächstbrechenden Meridians, kennen. Der Refraktionsunterschied der beiden Hauptschnitte bezeichnet den Grad des Astigmatismus, er kann durch eine Zylinderlinse ausgeglichen (korrigiert) werden, deren Brechkraft diesem Refraktionsunterschied entspricht, d. h. durch eine Zylinderlinse von bestimmter Brechkraft ihres Krümmungshauptschnittes wird das astigmatische System des Auges in ein (annähernd) homozentrisch brechendes System verwandelt (s. I. Teil S. 68). Dies kann in zweierlei Weise geschehen: entweder, indem durch eine Konvexzylinderlinse die Brechkraft des schwächstbrechenden Meridians so verstärkt wird, daß sie der des stärkstbrechenden Meridians gleich wird; die Achse der Zylinderlinse muß also senkrecht zu dem zu korrigierenden schwächstbrechenden Hauptmeridian liegen; oder indem durch eine Konkavzylinderlinse die Brechkraft des stärkstbrechenden Meridians so vermindert wird, daß sie der des schwächstbrechenden Meridians gleich wird. Nach der Brechkraft des im gewöhnlichen Brillenstand den Refraktionsunterschied beider Hauptschnitte ausgleichenden Zylinderglases bezeichnen wir praktisch den Grad des Astigmatismus.

Je nach der Refraktion der beiden Hauptschnitte, d. h. der Lage der beiden hinteren Brennlinien zur Netzhaut, haben wir fünf Arten von „astigmatischer Refraktion“ zu unterscheiden:

1. Einfacher myopischer Astigmatismus, **Asm**:

Die eine Hauptbrennlinie liegt in der Netzhaut, die andere vor der Netzhaut, d. h. der Hauptschnitt, dessen Brennpunkt in die Netzhaut fällt, ist emmetropisch, der andere myopisch; das korrigierende Glas ist ein Konkavzylinder, dessen Achse senkrecht zum myopischen Hauptschnitt liegt (also gewöhnlich horizontal, s. u.).

2. Einfacher hypermetropischer Astigmatismus, **Ash**:

Die eine Brennlinie in, die andere hinter der Netzhaut, d. h. E im einen Hauptschnitt, H im andern. Korrektion: Konvexzylinder mit Achse senkrecht zum hypermetropischen Hauptschnitt (also gewöhnlich vertikal).

3. Zusammengesetzter myopischer Astigmatismus, **M + Asm**:

Beide Brennlinien liegen vor der Netzhaut, d. h. es besteht M verschiedenen Grades in beiden Hauptschnitten. Korrektion: sphärische Konkavlinse entsprechend dem Grad der M des schwächer myopischen Hauptschnittes (wodurch beide Hauptbrennlinien so weit nach hinten gerückt werden, daß die zweite in die Netzhaut fällt), und eine Konkavzylinderlinse, deren Brechkraft den Refraktionsunterschied beider Hauptschnitte, d. h. den Grad des Astigmatismus ausgleicht, mit der Achse senkrecht zum stärker myopischen Hauptschnitt.

4. Zusammengesetzter hypermetropischer Astigmatismus, **H + Ash**:

Beide Brennlinien hinter der Netzhaut, d. h. beide Hauptschnitte haben H verschiedenen Grades. Korrektion: sphärisches Konvexglas entsprechend dem Grad der H des schwächer hypermetropischen Hauptschnittes, und Konvexzylinderlinse entsprechend dem Refraktionsunterschied beider Hauptschnitte, mit der Achse senkrecht zum stärker hypermetropischen Hauptschnitt.

5. Gemischter (oder gekreuzter) Astigmatismus, **As mh**:

Die eine Brennlinie liegt vor, die andere hinter der Netzhaut, d. h. M im einen, H im anderen Hauptschnitt.

Korrektion ist in dreierlei Weise möglich:

a) sphärische Konkavlinse entsprechend dem Grad der M des myopischen Hauptschnittes, Konvexzylinderlinse entsprechend dem Refraktionsunterschied beider Hauptschnitte, d. h. dem Grad des Astigmatismus (dieser ist gleich dem Grad der M des einen Hauptschnittes plus dem Grad der H des anderen Hauptschnittes).

b) sphärische Konvexlinse entsprechend der H des einen Hauptschnittes, Konkavzylinderlinse entsprechend dem Grad des Astigmatismus.

c) Konkavzylinder entsprechend der M des einen Hauptschnittes (Achse senkrecht zu diesem) und Konvexzylinder entsprechend der H des anderen Hauptschnittes (Achse senkrecht zu diesem, also senkrecht zu der des Konkavzylinders).

Nach a und b wird zuerst durch die sphärische Linse einfacher **A s h** oder A s m hergestellt und dieser durch einen entsprechenden Zylinder korrigiert; die sphärische Linse wählt man im allgemeinen entsprechend dem von E am wenigsten abweichenden Hauptschnitte; der den Astigmatismus korrigierende Zylinder hat dann das entgegengesetzte Vorzeichen.

Im Fall c wird der gesamte Astigmatismus in einen myopischen und einen hypermetropischen Teil zerlegt und jeder Hauptschnitt durch den entsprechenden Zylinder emmetropisch gemacht.

Diese drei Linsenkombinationen sind also dioptrisch gleichwertig (s. I. Teil S. 70).

Wir wollen im folgenden der Einfachheit wegen die Refraktion des von E am wenigsten abweichenden Hauptschnittes eines astigmatischen Auges als Grundrefraktion bezeichnen (bei gleichgroßer Abweichung beider Hauptschnitte bei gemischtem Astigmatismus kann man die Grundrefraktion nach Belieben entsprechend dem myopischen oder entsprechend dem hypermetropischen Hauptschnitt annehmen).

Die Bestimmung des Astigmatismus geschieht objektiv mit dem Augenspiegel (im aufrechten Bild und skiaskopisch) und mit dem Ophthalmometer (mit dem aber nur der Hornhautastigmatismus bestimmt wird), subjektiv im allgemeinen in der Weise, daß nach Korrektion der Grundrefraktion (entsprechend der gewöhnlichen Bestimmung der M und H) noch das Cylinderglas gesucht wird (nach Grad und Achsenlage), mit dem sich die S noch am meisten bessern läßt (weiteres s. S. 152). Nach vorheriger objektiver Bestimmung ist dies verhältnismäßig einfach.

Wer über die objektiven Untersuchungsmethoden nicht verfügt, kann auch subjektiv das Vorhandensein von regelmäßigem Astigmatismus und die Lage der Hauptschnitte feststellen. Am bequemsten geschieht dies mittels der Snellenschen Strahlenfigur (s. Fig. 46), die man auf etwa 1 m Abstand hält, nachdem man den Patienten durch Vorsetzen eines Konvexglases mäßig kurzsichtig (etwa 2 D) gemacht hat (s. S. 85), wenn er nicht ohnehin schon kurzsichtig ist. Man nähert dann die Figur allmählich dem Auge, bis einer der radiären Striche scharf erscheint; der scharf gesehene Strich giebt die Lage des einen Hauptschnittes und zugleich den Fernpunktsabstand des anderen, senkrecht zum ersten gelegenen Hauptschnittes an (war ein Konvexglas vorgesetzt, so ist die wirkliche Refraktion dieses Hauptschnittes natürlich um die Brechkraft des Konvexglases

geringer). Werden zwei Striche gleich deutlich gesehen, so nimmt man die Zwischenrichtung als Lage des einen Hauptschnittes an.

Bei dem gefundenen Zylinderglas ist die am besten korrigierende Achsenstellung in einem mit Gradbogen versehenen Brillengestell genau zu regulieren.

Die Bezeichnung der Achsenlage des Zylinderglases geschieht jetzt meist in der Weise, daß man das obere Ende des vertikalen Augenmeridians als Nullpunkt betrachtet und die etwaige nasale oder temporale Abweichung der Zylinderachse von dieser

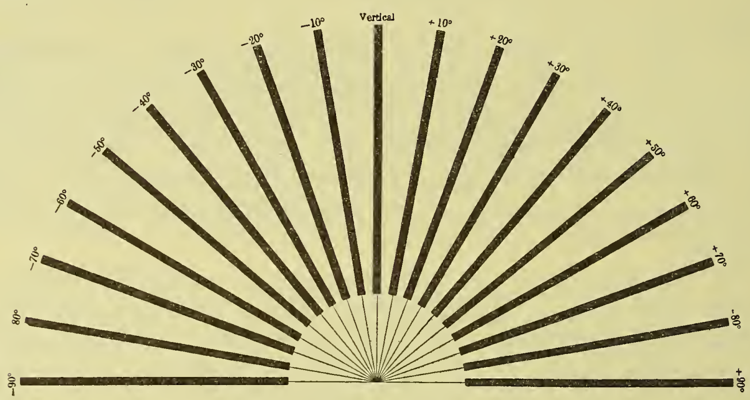


Fig. 46.

Stellung angiebt: + 1,0 ⊂⊃ cyl + 2,0 20° t bedeutet also eine Korrektion von sphärisch + 1,0 D mit Zylinder + 2,0, oberes Ende der Achse 20° nach der Schläfenseite (temporal) abweichend.

Die Art des Sehens eines nicht korrigierten astigmatischen Auges läßt sich aus den Ausführungen über die Beleuchtungsbilder bei astigmatischer Lichtbrechung bei verschiedener Lage des lichtauffangenden Schirmes leicht ableiten (s. I. Teil S. 45 ff.).

Bei der bisher besprochenen Form von Astigmatismus hat das gebrochene Strahlenbündel zwei zueinander senkrechte Symmetrieebenen, deren jede das Strahlenbündel in zwei symmetrische Hälften teilt. Eine zweite Form von Astigmatismus, die man auch noch als „regelmäßig" bezeichnen kann, kommt dadurch zustande, daß der Scheitel der Hornhaut nicht zur Linsenachse zentriert ist, aber mit dieser in einer Symmetrieebene liegt (die die Hornhaut und die Linse in zwei symmetrische Hälften teilt); das gebrochene Strahlenbündel hat dann nur eine Symmetrieebene, die durch den Hornhaut-

scheitel und die Linsenachse geht, die eine hintere Brennlinie liegt senkrecht zur Symmetrieebene, die andere liegt in der Symmetrieebene, aber nicht rechtwinklig, sondern schief zum Hauptstrahl (ihre Lage nähert sich mehr oder weniger der optischen Achse, mit der sie selbst zusammenfallen kann). Die gleiche Form astigmatischer Brechung kommt zustande, wenn (auch bei richtiger Zentrierung der Flächen, die Gesichtslinie einen merklichen Winkel mit der optischen Hauptachse bildet. Ein konzentrisch zur Gesichtslinie einfallendes Strahlenbündel hat nach der Brechung eine Symmetrieebene, die durch die Gesichtslinie und die optische Achse geht.

Bei dieser Form des Astigmatismus ist die Symmetrieebene die einzige Ebene, deren Strahlen sämtlich die optische Achse schneiden. (Die Strahlen der andern Achsenschnitte bleiben nach der Brechung überhaupt nicht in einer Ebene.)

Eine dritte Form von Astigmatismus, bei der das gebrochene Strahlenbündel immer noch einigermaßen definierbar ist, entsteht, wenn der Hornhautscheitel dezentriert ist und eine Symmetrieebene der Hornhaut besteht, die nicht zugleich die Linsenachse enthält (also nicht zugleich Symmetrieebene der Linse ist). In diesem Fall hat das gebrochene Strahlenbündel überhaupt keine Symmetrieebene mehr, der Hauptstrahl schneidet die optische Achse nicht, es giebt überhaupt keine Ebene des gebrochenen Strahlenbündels, deren Strahlen sämtlich die Achse schneiden. Es existieren keine geraden Brennlinien oder überhaupt keine Brennlinien mehr. Auch bei dieser Form kann durch eine Zylinderlinse die S oft gebessert werden, indem die gebrochenen Strahlenbündel wenigstens eine gewisse Annäherung an homozentrische Strahlenbündel erleiden können.

Praktisch ist immer die wichtigste Frage, ob ein Astigmatismus vorliegt, der durch eine Zylinderlinse mehr oder weniger korrigierbar ist oder nicht.

B. **Unregelmäßiger Astigmatismus** liegt vor, wenn eine der brechenden Flächen (in der Regel die Hornhaut) solche Unregelmäßigkeiten zeigt, daß die Form des gebrochenen Strahlenbündels überhaupt nicht mehr bestimmt werden kann. Hauptsächlich sind es Veränderungen der Hornhautoberfläche durch Narben, Facetten u. s. w., die unregelmäßigen Astigmatismus bewirken; Zylindergläser bessern das Sehen nicht, wohl aber kann durch stenopäische Blenden oft eine wesentliche Besserung erzielt werden. Objektiv ist der unregelmäßige Astigmatismus mit dem Keratoskop, Ophthalmometer und

Augenspiegel erkennbar (besonders im aufrechten Bild, wenn man sich vor der Pupille mit dem Spiegel hin und herbewegt). Meist sind zugleich Hornhautflecken vorhanden.

cc) Medientrübungen.

Die Wirkung der Medientrübungen auf die Schärfe der Netzhautbilder hängt von ihrem Ort, ihrer Ausdehnung und Dichtigkeit ab.

Glaskörpertrübungen werden gewöhnlich subjektiv empfunden, indem nach Blickbewegungen wogende Nebel oder Wolken oder auch geformte Gebilde gesehen werden, die vor dem Auge hin und herschwanken. Bei ungleichmäßiger Verteilung der Trübungen im Glaskörper wird durch das Schwanken der Trübungen auch ein deutliches Schwanken der S. bemerkt, indem die vom Fixierpunkt und seiner nächsten Umgebung kommenden Strahlenbündel bald mehr bald weniger gestört werden.

Trübungen der Linse (einschließlich Auflagerungen auf dieser) und der Hornhaut werden gewöhnlich subjektiv nicht wahrgenommen (auf entoptischem Wege sind sie aber auch zur Wahrnehmung zu bringen). Zentral gelegene Störungen schädigen die S verhältnismäßig mehr bei enger Pupille, somit bei sehr heller Beleuchtung (z. B. bei Benützung transparenter Sehproben am Fenster), peripherisch gelegene mehr bei weiter Pupille, also bei schwacher Beleuchtung. Bei Prüfung der S kann so durch axiale Trübungen eine geringe Störung der Helladaptation, durch peripherische eine Störung der Dunkeladaptation (s. Lichtsinn) vorgetäuscht werden.

Der Augenspiegel giebt über die Trübungen sofort Aufschluß.

b) Netzhautbildgröße.

Unter sonst gleichen Bedingungen ist die S proportional der Größe der Netzhautbilder. Diese hängt von der Distanz zwischen Netzhaut und hinterem Knotenpunkt („Netzhaut-Knotenpunktsabstand") ab, also von der Achsenlänge des Auges und zugleich von der Lage des hinteren Knotenpunktes; diese wird sowohl durch die Akkommodation wie durch Vorsetzen von Linsen verändert. Die für die Praxis wichtigsten Verhältnisse seien hier angeführt.

Konvexgläser vergrößern, Konkavgläser verkleinern das Netzhautbild eines Gegenstandes. Fig. 47 erläutert die Vergrößerung der Bilder durch ein Konvexglas für ferne Objekte, deren Abstand

vom vorderen Brennpunkt des Auges größer ist als die Brennweite des am Ort dieses Brennpunktes vorgesetzten Konvexglases (was für mehr als 4 m bei Korrektion hypermetropischer Augen stets der Fall ist). Die gestrichelte Linie BKM ist der Richtungsstrahl des Punktes B bei unbewaffnetem Auge, M also das Netzhautbild von B bei unbewaffnetem Auge. Wird am vorderen Brennpunkt F eine Konvexlinse mit der Brennweite FR_1 angebracht, so entwirft die Linse von dem Punkt B ein optisches Bild B' (Schnitt-

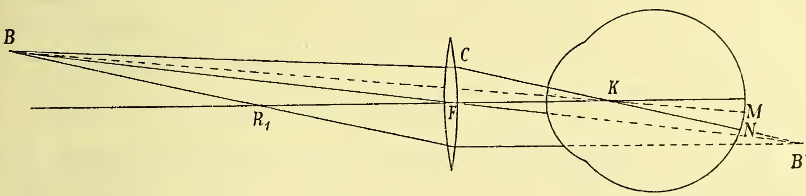


Fig. 47.

punkt des durch den optischen Mittelpunkt der Linse F gehenden Strahles und des durch den ersten Brennpunkt gehenden Strahles BR_1, der nach der Brechung durch die Linse achsenparallel wird; der nach der Brechung durch die Linse durch K nach B' zielende Strahl CKB' trifft die Netzhaut in N, dieser Punkt ist das Netzhautbild von B nach Vorsetzen der Linse. KB' scheidet die Netzhaut stets in größerem Abstand von der Achse als der Richtungsstrahl BK beim unbewaffneten Auge, da B' stets auf dem Strahl BF liegt, der die optische Achse früher kreuzt als der Strahl BK. Das Netzhautbild des Punktes B liegt daher bei Vorsetzen eines Konvexglases stets weiter vom Netzhautmittelpunkt (dem Bildpunkt des Fixierpunktes) ab, als bei unbewaffnetem Auge.

Aus der Fig. 47 läßt sich leicht ableiten, daß die Vergrößerung durch eine Konvexlinse stärker wird, wenn die Linse weiter vom Auge abgerückt wird, und geringer, wenn sie dem Auge mehr genähert wird. (Dies gilt nicht mehr allgemein, wenn sich das Objekt innerhalb der Brennweite der Linse befindet, so daß diese ein virtuelles Bild des Objektes auf der Objektseite entwirft. Von einem gewissen Verhältnis zwischen Objektabstand und der Brennweite der Linse an nimmt die Vergrößerung wieder ab.)

Fig. 48 zeigt die Verkleinerung der Netzhautbilder durch Konkavlinsen: M ist das Bild von B bei unbewaffnetem Auge. Die Linse L entwirft von B das virtuelle Bild B', dieses liegt stets

auf dem Strahl *BF*, also zwischen dem für das unbewaffnete Auge in Betracht kommenden Richtungsstrahl *BK* und der optischen Achse; *B'K* trifft daher die Netzhaut stets in einem achsennäheren Punkt *N* als der Strahl *BKM*.

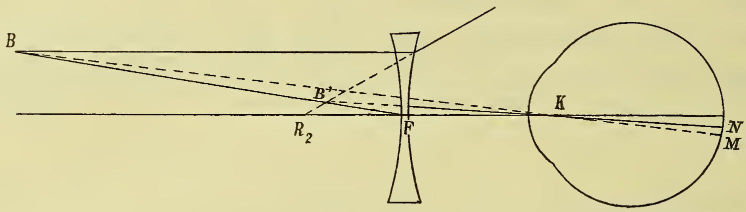


Fig. 48.

Mit dem Abrücken der Konkavlinse vom Auge entfernt sich auch das virtuelle Bild *B'*, sein Abstand von der optischen Achse würde daher unter kleinerem Gesichtswinkel gesehen, wenn seine Größe unverändert bliebe; mit der Annäherung der Konkavlinse an das Objekt wächst aber auch die Größe des virtuellen Bildes, jedoch bei fernen Objekten so wenig, daß die Verkleinerung des Gesichtswinkels dadurch nicht kompensiert wird. Abrücken der Konkavlinse vom Auge steigert also die Verkleinerung für ferne Objekte, umgekehrt ist bei Annäherung der Konkavlinse an das Auge die Verkleinerung geringer.

Bei Betrachtung eines fernen Gegenstandes sind die Netzhautbilder bei *E*, *AM* und *AH* gleich groß, wenn die Ametropie durch

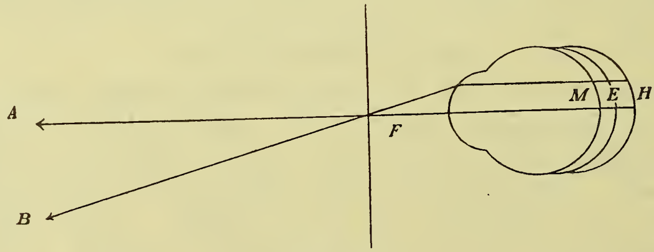


Fig. 49.

ein Glas im vorderen Brennpunkt des Auges korrigiert wird, s. F. 49: der von dem Punkt *B* des im Punkt *A* fixierten Gegenstandes *AB* durch den vorderen Brennpunkt *F* (mit dem der optische Mittelpunkt der korrigierenden Linse *L* nach Vorsetzung zusammen-

fällt) gehende Strahl wird im Auge achsenparallel, er trifft die Netzhaut je nach der vorliegenden Refraktion in *H, E, M,* also in gleichem Abstand vom (physiologisch optischen) Netzhautmittelpunkt (oder der optischen Achse).

Bei der gewöhnlichen Prüfung der Refraktion und S auf ferne Distanz unter Ausschluß der Akkommodation wird also in der That die absolute S bestimmt (vgl. S. 80), wenn die Gläser 12 mm vor der Hornhaut gehalten werden. Da aber in einer Brille oder einem Klemmer die Gläser meist etwas weiter vom Auge abstehen, als der vordere Brennpunkt, so ist die Netzhautbildgröße bei korrigiertem achsenmyopischem Auge (und noch mehr bei brechungsmyopischem) im allgemeinen etwas kleiner als beim emmetropischen Durchschnittsauge, beim korrigierten achsenhypermetropischen Auge (und noch mehr beim brechungshypermetropischen) etwas größer.

Für ein durch Akkommodation sich auf einen fernen Punkt einstellendes achsenhypermetropisches Auge ist das Netzhautbild

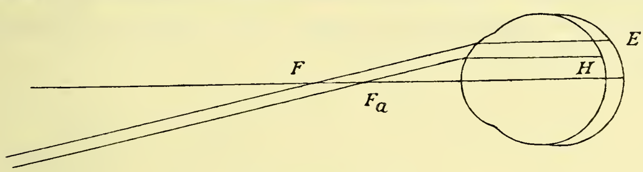


Fig. 50.

kleiner als für ein auf denselben Punkt akkommodationslos eingestelltes emmetropisches oder korrigiertes hypermetropisches Auge, s. Fig. 50. Durch die Akkommodation wird die vordere Brennweite des Auges kürzer, der vordere Brennpunkt rückt näher ans Auge

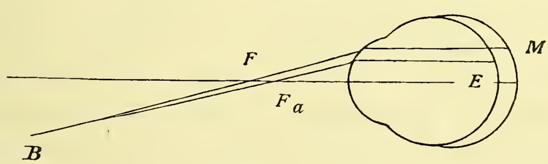


Fig. 51.

nach F_a, der Strahl BF_a trifft die Hornhaut und, achsenparallel weitergehend, auch die Netzhaut in einem achsennäheren Punkt.

Bei Fixierung eines nahen Gegenstandes ist das Netzhautbild eines akkommodierenden emmetropischen Auges kleiner als das eines ohne Akkommodation auf denselben Abstand eingestellten

achsenmyopischen Auges, s. Fig. 51: Der durch den vorderen Brennpunkt F_a des akkommodierenden emmetropischen Auges gehende Strahl BF_a trifft die Hornhaut und daher auch die Netzhaut in einem achsennäheren Punkt als der Strahl BF beim myopischen Auge. Für ein auf denselben Punkt akkommodierendes achsenhypermetropisches Auge ist wegen der noch stärkeren Akkommodationswirkung (und damit verbundenen stärkeren Verkürzung der vorderen Brennweite) das Netzhautbild noch kleiner.

Beim aphakischen Auge sind die Netzhautbilder größer als bei einem gleich langen Vollauge (linsenhaltigen Auge), da der Knotenpunkt nach vorn rückt; Korrektion des aphakischen Auges mit einem Konvexglas wirkt noch weiter vergrößernd auf das Netzhautbild eines fernen Gegenstandes.

Das Netzhautbild eines fernen Gegenstandes bei einem durch Linsenentfernung emmetropisch gewordenen Auge verhält sich zum Netzhautbild eines emmetropischen (oder eines im vorderen Brennpunkt korrigierten achsenametropischen) Vollauges wie die vordere Brennweite des aphakischen Auges zur vorderen Brennweite des Vollauges, s. Fig. 52.

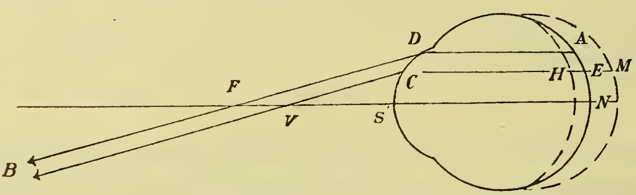


Fig. 52.

F ist der vordere Brennpunkt des aphakischen emmetropischen Auges, *V* der vordere Brennpunkt des Vollauges; der von dem fernen Punkt *B* durch *V* gehende Strahl trifft die Hornhaut des Vollauges in *C*, die Netzhaut in *E* (resp. *H* oder *M*); der von *B* durch den vorderen Brennpunkt *F* des aphakischen Auges gehende Strahl trifft die Hornhaut des aphakischen Auges in *D*, die Netzhaut in *A*. *SN* sei die optische Achse des reduzierten Auges, die wir uns hier mit der Gesichtslinie identisch denken; dann ist: $AN:EN = DS:CS = FS:VS$. Da sich die vordere Brennweite (FS) des aphakischen zu der des Vollauges (VS) ungefähr verhält wie 23 : 15 (*S* ist der Scheitel der Hornhaut des reduzierten Auges) oder annähernd wie 1,5 : 1, so ist also die S des aphakischen Auges

bei gleichem Distinktionsvermögen der Netzhaut etwa 1,5 mal so groß wie die des emmetropischen oder des im vorderen Brennpunkt korrigierten achsenametropischen Vollauges.

c) Helligkeit des Netzhautbildes.

Die S hängt — unter Voraussetzung konstanter Pupillenweite und sonst gleicher Bedingungen — von der Helligkeit des makularen Netzhautbildes und ihrem Verhältnis zur Helligkeit der übrigen Beleuchtungsbilder auf der Netzhaut ab, somit bei nicht selbstleuchtenden Objekten von der Beleuchtungsintensität und dem Kontrastverhältnis des fixierten Objektes zu seiner Umgebung. Bei genügendem Kontrast erreicht die S bei etwa 100 Meterkerzen fast das Maximum, weitere Steigerung der Beleuchtung bewirkt nur noch ganz geringe Steigerung der S. Die gewöhnlichen Schwankungen des Tageslichts können daher die S schon sehr merklich beeinflussen. Bei einer Beleuchtung, bei der die S des Untersuchenden nicht mehr die maximale ist, wird auch beim Untersuchten nicht mehr die maximale S gefunden. Der Arzt hat im allgemeinen eine genügende Kontrolle durch seine eigenen Augen; er kann dann den Maßstab reduzieren, indem er die Sehproben so weit nähert, bis er die Reihe erkennt, die er bei guter Beleuchtung auf die gewöhnliche Prüfungsdistanz von 6 m (resp. 5 oder 4 m) erkennt, und er rechnet jenen Abstand der Sehproben als 6 m (resp. 5 oder 4 m). Der Einfluß der Beleuchtung auf die S ändert sich bei abnormen Zuständen des Empfindungsapparates (s. unter 𝔅).

Die Änderung der Pupillenweite bei Änderung der Beleuchtung bewirkt, daß mit steigender oder abnehmender Beleuchtung die Helligkeit des Netzhautbildes nicht gleichmäßig mit der Beleuchtung zu- oder abnimmt, sondern in langsamerem Maße. Andrerseits beeinflußt die Pupillenweite zwar auch die Bildschärfe (s. Aberration S. 137), aber bei abnehmender Beleuchtung wird die S in immer steigendem Maße mehr von der Helligkeit als von der Schärfe des Netzhautbildes abhängig.

Bei Leuten mit Miosis (abnorm enge Pupille) macht sich daher der Einfluß einer verringerten Beleuchtung etwas stärker geltend, als bei solchen, deren Pupille sich im Dunkeln gut erweitert, es kann so eine Störung des Empfindungsapparates (ein leichter Grad von Adaptationsstörung, s. S. 159) vorgetäuscht werden.

B) Abhängigkeit der Sehschärfe vom Empfindungsapparat. (Feinheit der Empfindungsabgrenzung.)

Die Feinheit der Empfindungsabgrenzung räumlich möglichst scharf begrenzter Netzhautreize bezeichnen wir als *Distinktionsvermögen der Netzhaut*. Dieses kommt nur bei den bestmöglichen optischen Bedingungen voll zum Ausdruck, z. B. unter Voraussetzung eines optisch möglichst gut gebauten Auges bei heller Beleuchtung im Freien, wobei zugleich die Pupille ziemlich eng ist. (Vgl. auch S. 81 f.) Unter gewöhnlichen Bedingungen ist aber die Empfindungsabgrenzung verhältnismäßig feiner als die optische Reizabgrenzung, indem diese gewissermaßen durch die erstere korrigiert wird. Die Netzhautbilder zweier Lichtpunkte können auch dann noch voneinander unterschieden werden, wenn sie sich mit ihren Zerstreuungskreisen noch zum Teil decken. Dies ist dadurch möglich, daß die Zerstreuungskreise von ihrem Zentrum nach der Peripherie hin nicht gleichmäßig an Helligkeit abnehmen, und außerdem dadurch, daß die Reizung einer Netzhautstelle bei einer gewissen Intensität des Reizes physiologisch mit einer Herabsetzung der Lichtempfindlichkeit der Nachbarstellen (resp. der Weißerregung nach gewissen theoretischen Vorstellungen) verbunden ist. Denken wir uns in Fig. 53 die Lichtintensität der Durchmesser zweier Zerstreukreise so dargestellt, daß die beiden Zentren der Zerstreuungskreise über den Zapfen 2 und 4 liegen, und der Durchmesser jedes Zerstreuungskreises sich über drei Zapfen erstreckt, so kann der Zapfen 3 noch eine Dunkelempfindung haben, indem die ihn treffenden schwachen Lichtintensitäten keine Helligkeitsempfindung in ihm auslösen. Die Zentren der Zerstreuungskreise über den Zapfen 2 und 4 können vielleicht sehr nahe an die Grenze des Zapfens 3 heranrücken, ohne in diesem eine Heiligkeitsempfindung auszulösen. Die in der Figur graphisch dargestellte „*Lichtfläche*" (Hering und Mach) ist größer als die „*Empfindungsfläche*".

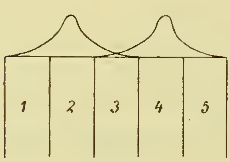


Fig. 53.

Wie hiernach begreiflich ist, machen sich schon verhältnismäßig geringe Störungen des Distinktionsvermögens meist auch unter den gewöhnlichen optischen Bedingungen geltend, indem die S dabei gewöhnlich unternormal ist und durch Verbesserung der optischen Bedingungen nicht entsprechend gebessert wird.

Unter verschiedenen Verhältnissen wird die S in verschiedener Weise beeinträchtigt. Verhältnismäßig starke Herabsetzung der S bei Herabsetzung der Beleuchtung weist auf eine Störung des Empfindungsapparates, die durch mangelhafte Dunkel-Adaptation bedingt ist (s. Lichtsinn); Verminderung der S durch sehr gesteigerte Beleuchtung weist auf einen Mangel der Hell-Adaptation (s. Lichtsinn). Allgemeine Herabsetzung der S, die nicht durch optische Mängel genügend erklärbar ist und mit Herabsetzung der Beleuchtung sich verhältnismäßig langsam steigert, ist allgemein durch eine Störung des Leitungsapparates oder der Centren bedingt (vgl. auch Lichtsinn und Farbensinn). Ist mit der Sehstörung eine Verzerrung gesehener Gegenstände (besonders gerader Linien) verbunden, was wir als Metamorphopsie bezeichnen, so liegt eine mechanische Störung der Lagerung der Netzhautelemente vor (Netzhaut- oder Aderhautblutung, Exsudat oder beginnender Tumor hinter der Netzhaut, Verletzung der Netzhaut, Netzhautablösung, Kompression des hinteren Pols durch einen retrobulbären Tumor).

3. Praktische Prüfung der Sehschärfe und ihrer Abhängigkeitsbedingungen.

Das Wichtigste ist die Prüfung der Sehschärfe und Refraktion, die beide stets zusammen bestimmt werden. Da die größtmögliche Sehschärfe nur bei richtiger optischer Einstellung erreichbar ist, so dient die eventuell durch Vorsetzen von Brillengläsern zu erreichende größtmögliche Sehschärfe für einen bestimmten Abstand zur Kontrolle der optischen Einstellung.

Um die wirkliche Fernpunktsrefraktion zu bestimmen, schalten wir die Akkommodation aus: wird nur mit Konkavgläsern die größtmögliche Sehschärfe erreicht, so ergiebt das schwächste Konkavglas, mit dem dies der Fall ist, die akkommodationslose Einstellung auf 6 m, anderenfalls wird diese Einstellung durch das stärkste Konvexglas erreicht, das noch die größtmögliche Sehschärfe zuläßt.

Wer die objektiven Untersuchungsmethoden beherrscht, orientiert sich zuerst damit schon über die Refraktion. Im folgenden wird die Untersuchung indeß so dargestellt, daß auch ohne vorausgegangene objektive Prüfung die Refraktion und Sehschärfe festgestellt werden können. Der Patient setzt sich mit dem Rücken gegen das Fenster. Die Sehproben werden auf 6 m Entfernung aufgehängt. Wer kein

genügend helles Zimmer von dieser Länge zur Verfügung hat, kann eventuell auch auf 5 oder 4 m prüfen. Bei der Bezeichnung der Sehschärfe ist dann natürlich diese Entfernung in den Zähler einzusetzen.

Der Untersuchte verdeckt das eine Auge mit der flachen Hand. (Bei Kindern ist es besser, das nicht geprüfte Auge zu verbinden.) Man läßt nun die Sehproben lesen bis zur noch eben erkannten Linie. Damit ist zunächst die „Sehleistung“ bestimmt (vgl. S. 79). Ist die Sehschärfe normal, so besteht richtige Einstellung für 6 m, folglich ist Kurzsichtigkeit und Astigmatismus (wenigstens von wesentlichem Grade) auszuschließen. Es kann E oder auch H vorliegen. Man setzt nun sukzessiv Konvexgläser vor, bis angegeben wird, daß das Sehen sich verschlechtert. Das stärkste Konvexglas, bei dem noch keine Verminderung der Sehschärfe eintrat, bestimmt den Grad vorhandener H. Wurde schon das schwächste Konvexglas verworfen, so besteht E.

Ergab die Prüfung der Sehleistung keine normale Sehschärfe, so wird, da zunächst M meist am wahrscheinlichsten ist, versucht, ob Konkavgläser die Sehschärfe bessern. War die Sehschärfe nur wenig unter normal, so beginnt man mit ganz schwachen Gläsern. Bei stärkerer Herabsetzung der Sehschärfe kann gleich mit stärkeren Gläsern (2 D oder ev. auch noch mehr) begonnen werden. Bessern Konkavgläser die Sehschärfe, so setzt man sukzessiv stärkere Gläser vor, bis keine weitere Besserung der Sehschärfe zu erzielen ist. Das schwächste Konkavglas, mit dem die größtmögliche Sehschärfe erreicht wurde, giebt den Grad der Myopie an.

War mit einem Konkavglas keine Besserung der Sehschärfe zu erzielen, so werden Konvexgläser versucht; ergeben Konvexgläser Besserung oder mindestens keine Verschlechterung, so wird auch hier mit dem stärksten Konvexglas, mit dem noch die größtmögliche Sehschärfe vorhanden ist, der Grad der Hypermetropie bestimmt.

War nach Feststellung einer M oder H mit dem korrigierenden Glase noch keine normale Sehschärfe zu erreichen, so wird noch auf Astigmatismus geprüft. Wer sich nicht durch objektive Untersuchung von der Art und dem ungefähren Grade des A unterrichten konnte, kann dies auf subjektivem Wege mittelst der Snellenschen Strahlenfigur (vgl. S. 141). War als Grundrefraktion M gefunden, so wird das gefundene Korrektionsglas vorgesetzt und nun sukzessiv stärkere Konkavzylinder vorgehalten; die Zylinderaxe ist dabei

senkrecht zu dem bei der SNELLENschen Figur am schärfsten erscheinenden Strahl zu halten. Das die Sehschärfe am meisten verbessernde Zylinderglas ergibt den Grad des Astigmatismus, erscheinen einige der Zylindergläser gleich gut, so nimmt man das schwächste davon als das den Astigmatismus korrigierende an.

Bei H versucht man analog mit Konvexzylindergläsern die Sehschärfe möglichst zu bessern; die Zylinderaxe ist aber hier parallel zu dem deutlichsten Strahl der SNELLENschen Figur zu setzen (vorausgesetzt, daß man mit der SNELLENschen Figur nach Herstellung künstlicher Myopie durch ein Konvexglas geprüft hat; vgl. S. 141).

Ergeben sphärische Konvex- und Konkavgläser ein unbestimmtes Resultat mit schwankenden Angaben, so ist auf gemischten Astigmatismus zu prüfen. Man versucht zunächst, ob mit einem bestimmten Konkavzylinder merkliche Besserung der Sehschärfe erreicht wird und setzt vor dieses noch sphärische Konvexgläser wie bei Bestimmung einer H. Verschlechtert schon das schwächste Konvexglas, so liegt einfacher myopischer Astigmatismus vor. Wurden noch sphärische Konvexgläser vertragen, so besteht

α) gekreuzter Astigmatismus,

wenn die Dioptrienummer des sphärischen Konvexglases schwächer ist als die des Konkavzylinders;

β) einfacher hypermetropischer Astigmatismus (Ash),

wenn die Dioptrienummer des sphärischen Konvexglases gleich der des Konkavcylinders ist;

γ) H plus Ash,

wenn die Dioptrienummer des sphärischen Konvexglases höher ist als die des Konkavzylinders.

Beim Fall β ersetzt man die gefundene Kombination für die Korrektion durch ein Konvexzylinderglas von derselben Stärke wie der vorher vorgesetzte Konkavzylinder, Achse senkrecht zu der des Konkavzylinders (z. B. Zylinder — 1,0, Achse horizontal, mit sphär. + 1,0 wird ersetzt durch cyl. + 1,0 Achse vertikal).

Die bei Fall γ gefundene Kombination ersetzt man durch einen Konvexzylinder von der Stärke des zuerst vorgesetzten Konkavzylinders (Achse senkrecht zu der des Konkavcylinders) plus einem sphärischen Konvexglas, dessen Brechkraft dem Unterschiede der Dioptrieen des zuerst vorgesetzten Konkavzylinders und sphärischen Konvexglases entspricht, z. B. + 3,0 ⊂ cyl. — 2,0 Achse hor. = + 1,0 ⊂ cyl. + 2,0 Achse vert.

Nach Bestimmung der Refraktion setzt man vor beide Augen ihre Korrektion und prüft nun, ob binokular noch schwache Konvexgläser vertragen werden, da bei binokularem Fixieren der Ziliarmuskeltonus oft noch etwas nachläßt.

War mit keiner Korrektion normale Sehschärfe erreichbar, so läßt man nach Vorsetzen der zunächst gefundenen besten Korrektion noch eine stenopäische Öffnung vorhalten. Bessert diese das Sehen deutlich, so liegt ein durch Gläser nicht mehr korrigierbarer Fehler der Lichtbrechung vor, sei es starke Aberration, oder Astigmatismus der 3. Form, oder irregulärer Astigmatismus. Etwaige Störungen des Empfindungsapparates als Ursache der herabgesetzten Sehschärfe sind dann weiterhin noch durch Farbensinn- oder Lichtsinnprüfung auszuschließen. Bei der Prüfung der Akkommodation wird etwaiger Astigmatismus stets korrigiert, ebenso etwaige H. Bei Myopie und Presbyopie wird am besten der Nahpunkt mit dem Glase geprüft, das voraussichtlich für die Naharbeit zu verordnen ist.

BB. Die Tiefenwahrnehmung.

Eine unmittelbare Tiefenwahrnehmung haben wir nur beim binokularen Sehen; die Tiefenwahrnehmung des Einzelauges ist ganz von Erfahrungseinflüssen, also vom Sehgedächtnis abhängig (s. S. 203) und bisher überhaupt noch nicht Gegenstand der klinischen Prüfung in Bezug auf die Feinheit der Leistung.

Die Tiefenwahrnehmung des Doppelauges ist in erster Linie eine relative. Punkte, deren Netzhautbilder in beiden Augen in korrespondierenden Längsschnitten, d. h. gleichsinnig zum vertikalen Meridian jedes Auges, liegen und gleichen Abstand von diesem haben, werden in gleicher Entfernung wie der Blickpunkt gesehen; Punkte, deren Netzhautbilder auf beide temporalen Netzhauthälften fallen, erscheinen näher, ebenso Punkte, deren Netzhautbilder zwar gleichsinnig zum vertikalen Meridian liegen, aber so, daß das auf der temporalen Netzhauthälfte des einen Auges gelegene Bild in größerem Abstand vom vertikalen Meridian liegt, als das auf der nasalen Hälfte des anderen Auges gelegene Bild (s. Fig. 54). A_l und A_r sind die Netzhautbilder des fixierten Punktes A, B_l und B_r die Bilder des Punktes B. Punkte, deren Netzhautbilder auf die nasalen Netzhauthälften beider Augen fallen, werden ferner gesehen als der Blickpunkt, ebenso Punkte, deren Netzhautbilder gleichsinnig liegen, aber so daß das auf die nasale Netzhauthälfte

des einen Auges fallende Bild größeren Abstand vom vertikalen Meridian hat, als das auf der temporalen Hälfte des anderen Auges gelegene (s. Fig. 55).

Netzhautbilder von Punkten (oder vertikalen Linien), die nicht in korrespondierenden Längsschnitten beider Augen liegen, nennen wir querdisparat; die Größe der Querdisparation ist durch die Differenz der Abstände beider Bilder vom vertikalen Netzhaut-

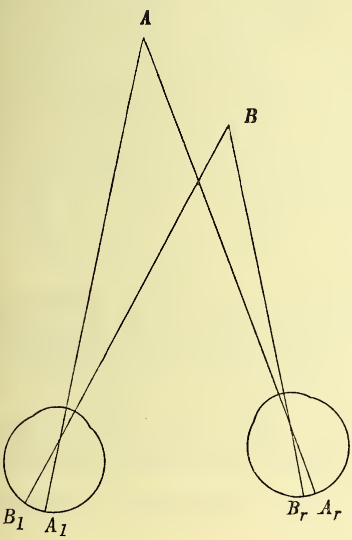


Fig. 54.

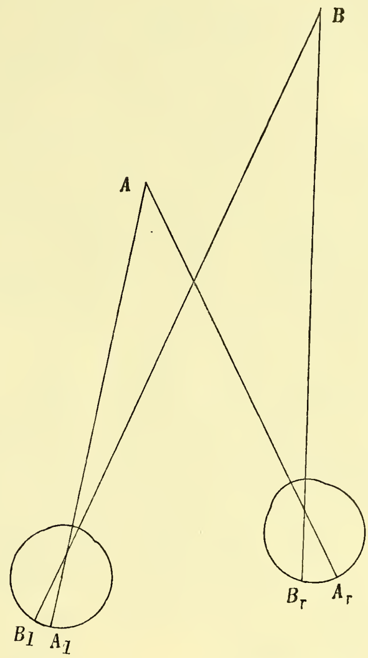


Fig. 55.

meridian gegeben (denken wir uns beide Netzhäute in einem „Cyklopenauge" aufeinandergelegt, so käme die Querdisparation durch den seitlichen Abstand der beiden Netzhautbilder voneinander unmittelbar zum Ausdruck). Bei einer gewissen Größe der Querdisparation erscheinen die Punkte doppelt.

Die Wahrnehmung von Tiefenunterschieden ist bei normalem Sehapparat überaus fein ausgebildet. Man kann ihre Leistungsfähigkeit am einfachsten durch drei in einer frontalen Ebene stehende Stäbchen prüfen, deren mittleres sagittal verschiebbar ist (Herings Stäbchenversuch). Die oberen und unteren Enden der Stäbchen

müssen dabei verdeckt sein. Heine hat Untersuchungen über die Abhängigkeit der Tiefenwahrnehmung von der S beider Augen angestellt und gefunden, daß man bei einer Entfernung der Stäbchen von 5 m (seitlicher Abstand der beiden äußersten Stäbchen voneinander 10 cm) eine Verschiebung des mittleren Stäbchens um 25—30 mm nach vorn oder hinten sicher erkennt, wenn die S beider Augen normal und die Refraktion beider Augen völlig gleich ist (mittlere Pupillendistanz von etwa 64 mm vorausgesetzt). Diese Leistung entspricht einer Querdisparation von nur 1 μ, einer Parallelachse (d. h. einem Konvergenzwinkelunterschied) von 12—14 Sekunden.

Auch mit Herings Fallversuch ist bequem festzustellen, ob gute und sichere Tiefenwahrnehmung vorliegt oder nicht: Man läßt Kügelchen oder andere Objekte von verschiedener Größe teils vor teils hinter einem kleinen Fixierobjekt in verschiedenen Abständen (aber mit geringem Seitenabstand von diesem) herunterfallen; der Untersuchte darf natürlich nur einen Teil der Fallbahn sehen. Das Stereoskop eignet sich ebenfalls gut zum Nachweis binokularer Tiefenwahrnehmung (besonders die stereoskopischen Bilder von Hegg) und auch zur Messung ihrer Feinheit, wofür man sich einfache Proben selbst herstellen kann.

Die Feinheit der Tiefenwahrnehmung nimmt mit beiderseits gleichmäßiger sowie mit einseitiger Herabsetzung der S in gleicher Weise ab, ferner durch Anisometropie mit oder ohne Herabsetzung der S eines oder beider Augen (Heine).

Bei guter Tiefenwahrnehmung kann daher auf gute S. beider Augen und (mindestens annähernd) gleiche Refraktion geschlossen werden, was eventuell zum Nachweis von Simulation verwertet werden kann.

Umgekehrt darf aber nicht aus schlechter Tiefenwahrnehmung auf Herabsetzung der S eines Auges geschlossen werden, da selbst bei guter beiderseitiger S und gleicher Refraktion die binokulare Tiefenwahrnehmung schlecht sein oder überhaupt fehlen kann (z. B. bei manchen Fällen von Strabismus alternans).

Da die binokulare Tiefenwahrnehmung auch einen komplizierten und fein arbeitenden zentralen Assoziationsmechanismus voraussetzt, so könnte auch durch zentrale Störungen die Tiefenwahrnehmung beeinträchtigt werden, ohne daß notwendig eine Störung der Einzelleistungen jedes Auges damit verbunden sein müßte. Sichere Beobachtungen sind hierüber noch nicht gemacht. Es wären auch hemianopische Störungen der Tiefenwahrnehmung ohne

gleichzeitige entsprechende hemianopische Herabsetzung der S denkbar.

Die absolute binokulare Tiefenwahrnehmung, d. h. die Tiefenlokalisation des binokularen Blickpunktes, kann als Wahrnehmung des Tiefenunterschiedes zwischen dem Blickpunkt und den in Querdisparation erscheinenden Teilen des eigenen Körpers (besonders der Nase) aufgefaßt werden (Hillebrand); ohne Zweifel wirkt aber auch die Konvergenz bei der Lokalisation des binokularen Blickpunktes mit. Störungen der Konvergenz und Divergenz (auch wenn sie durch Parese nur eines Seitenwenders bedingt sind) bewirken eine nachweisbare Störung der Tiefenlokalisation des Blickpunktes, wie ich gelegentlich bei Lähmung von Seitwärtswendern feststellen konnte. (Auch adduzierende und abduzierende Prismen wirken in diesem Sinne, wenn man korrigierende Wahrnehmungen möglichst ausschließt). Dieser Umstand könnte die Unterscheidung zwischen organischen und funktionellen (hysterischen) Konvergenzstörungen erleichtern; deutlich falsche Tiefenlokalisation würde für organische Lähmung sprechen.

Die absolute Tiefenwahrnehmung kann man prüfen, indem man den Patienten in halbdunklem Zimmer durch ein querovales Rohr aus Pappe nach einem Heringschen Stäbchen oder einem Bindfaden sehen läßt, dessen oberes und unteres Ende nicht sichtbar sein dürfen, und dessen Abstand zwischen etwa 30 und 60 cm variiert wird; man läßt mit den Finger auf dem Tisch die Entfernung angeben, wobei der Patient seine Hand nicht sehen darf.

B. Der Lichtsinn.

1. Physiologie des Lichtsinnes.

Der Lichtsinn ist die Fähigkeit, verschiedene Helligkeiten zu unterscheiden, sowohl räumlich wie zeitlich. Den geringsten wahrgenommenen Unterschied zweier objektiven Lichtintensitäten bezeichnen wir als Unterschiedsschwelle, die dieser Unterschiedsschwelle entsprechende Empfindungsleistung als Unterschiedsempfindlichkeit (UE). Wird die schwächere Lichtintensität gar nicht mehr als Helligkeit wahrgenommen, also überhaupt nur das hellere Objekt von der schwarzen Umgebung unterschieden, so bezeichnen wir die noch eben vom Dunkel unterschiedene Lichtintensität als Reizschwelle, indem wir die Helligkeit des dunkeln

Grundes gleich null annehmen; wir können daher die Reizschwelle als die unterste Unterschiedsschwelle betrachten.

Die Unterschiedsschwelle ist außer von dem Verhältnis der beiden Lichtintensitäten zu einander auch von der absoluten Beleuchtung der Lichtobjekte und ihrer Umgebung, von der räumlichen Ausdehnung der beiden Lichtobjekte und von dem augenblicklichen Zustand der Netzhaut abhängig.

Da wir es beim Sehen im allgemeinen viel mehr mit beleuchteten als mit selbstleuchtenden Objekten zu thun haben, und zweckmäßig auch die Prüfung des Lichtsinns mit beleuchteten Objekten ausführen, können wir die Helligkeitsverhältnisse der zu unterscheidenden Objekte und die ihrer Umgebung als von der Gesamtbeleuchtung in gleichem Maße abhängig betrachten und die allgemeine Beleuchtung als allgemeinere, auch die absolute Helligkeit der zu unterscheidenden Objekte einschließende Bedingung ansehen.

Für jede Beleuchtung giebt es einen bestimmten Zustand der Netzhaut, bei dem die UE relativ am größten ist, wir bezeichnen diesen Zustand als Adaptationszustand der Netzhaut. Ändert sich die Beleuchtung, so ist zunächt die UE verringert, die Netzhaut braucht einige Zeit, bis sie für die neuen Beleuchtungsverhältnisse ihre größte Empfindlichkeit erlangt hat; diesen Anpassungsvorgang nennen wir Adaptation. Diese geht beim Übergang zu hellerer Beleuchtung („Helladaptation") rascher vor sich als beim Übergang zu schwächerer Beleuchtung („Dunkeladaptation"). Beim plötzlichen Übergang vom Hellen zu völliger Dunkelheit ist zunächst die Reizschwelle sehr erhöht, es dauert etwa 15—20 Minuten, bis die Netzhaut wieder annähernd ihre maximale Empfindlichkeit erlangt hat, d. h. nahezu die normale Reizschwelle erreicht ist. Unter Adaptation schlechtweg versteht man gewöhnlich die Dunkeladaptation.

Die Adaptation geht normalerweise im Netzhautzentrum langsamer vor sich, als in der Peripherie; aber auch bei eingetretener Adaptation ist der Lichtsinn parazentral etwas besser, als zentral (infolge von Lichtabsorption durch das Makulapigment). Will man daher sicher den Lichtsinn des Zentrums prüfen, so darf das Prüfungsobjekt nicht zu groß sein, und es ist darauf zu achten, daß zentral fixiert wird.

Im allgemeinen unterscheidet ein normales und gut adaptiertes Auge Helligkeiten von einander, deren Intensitäten sich zu einander verhalten wie 179:180, wir sagen dann, die UE ist gleich $^1/_{180}$.

2. Lichtsinnstörungen.

Ist bei verringerter Beleuchtung nach Ablauf der gewöhnlichen Adaptationszeit noch eine für die betreffende Beleuchtung auffallende Herabsetzung der UE vorhanden, die UE aber bei heller Beleuchtung normal (oder annähernd normal), so liegt eine Störung der (Dunkel-) Adaptation vor, die auf eine Funktionsstörung der Stäbchenzapfenschicht hinweist. Diese Störung kann durch direkte Erkrankung der Stäbchen- und Zapfenschicht bedingt sein, oder indirekt durch Erkrankung der Aderhaut, wodurch die Ernährung jener Netzhautschicht leidet.

Ist der Lichtsinn bei heller wie bei schwacher Beleuchtung (nach Abwarten der gewöhnlichen Adaptationszeit) ungefähr gleichmäßig herabgesetzt, so liegt eine „neuroptische" Störung des Lichtsinnes vor, die von den inneren Netzhautschichten an bis zu den Wahrnehmungszentren lokalisiert sein kann. Hierbei giebt gewöhnlich die quantitative Prüfung des Farbensinnes genaueren Aufschluß.

Adaptationsstörung kommt daher vor allem bei Retinitis pigmentosa, ferner bei ausgebreiteter Chorioretinitis syphilitica und bei sonstigen diffusen Erkrankungen oder Ernährungsstörungen der Aderhaut vor, auch bei hohen Graden von M, sowie bei Glaukom ist sie oft in mäßigem Grad ausgesprochen; ferner kann sie nach vorausgegangener Blendung auftreten, besonders bei Aphakie, bei der gewöhnlich eine leichte Adaptationsstörung vorhanden ist (die ultravioletten Strahlen wirken bei Aphakie stärker auf die Netzhaut, so daß leichter Blendung auftritt, Fuchs), endlich kann sie Folge einer allgemeinen Ernährungsstörung sein (s. S. 306). Ausgeprägte Adaptationsstörung macht sich dem Kranken von selbst bemerklich durch auffallend schlechtes Sehen in der Dämmerung und bei Nacht, was wir als Nachtblindheit oder Hemeralopie (Tagsehen) bezeichnen.

Mangelhafte Helladaptation mit schlechterem Sehen und Blendung bei heller Beleuchtung (Nyktalopie, Nachtsehen) kommt angeboren bei Albinismus, erworben bei Intoxikationsamblyopien vor, sie bedarf im allgemeinen keiner besonderen Prüfung.

3. Prüfung des Lichtsinnes.

Zur Lichtsinnprüfung bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung eignen sich gut die Treitelschen „Tafeln zur numerischen Bestimmung des Lichtsinnes" (Königsberg, Hartungsche Buchdruckerei), die graue Quadrate von 1 cm in verschiedenen Helligkeitsabstufungen auf dunkelgrauem Grunde enthalten. Das Blatt mit der dunkelsten

Nüance, die auf 1 m Abstand noch erkannt wird, giebt den vorhandenen Lichtsinn an (die dunkelste graue Nüance, deren Erkennung L = 1 bedeutet, wird übrigens, wie auch Treitel selbst angiebt, bei normalem Lichtsinn gewöhnlich auf etwa 4 m erkannt). Wegen der relativen Dunkelheit des Grundes wird indes bei dieser Prüfung auch durch Adaptationsstörung der Lichtsinn herabgesetzt; die Quadrate wirken dann als Reizschwelle, indem der Grund in diesem Fall tief schwarz erscheint; der Lichtsinn zeigt zunächst eine im Verhältnis zur vorhandenen S auffallend starke Herabsetzung und nimmt nur ganz langsam, aber lange Zeit zu. Bei fehlender Adaptationsstörung wird die maximale Adaptation bei diesen Tafeln schon nach wenigen Minuten erreicht, die UE nimmt im Anfang der Prüfung etwas zu und zeigt weiterhin keine wesentliche Steigerung mehr.

Die Abhängigkeit der S von dem Kontrast zwischen Objekt und Grund giebt ebenfalls eine Möglichkeit, den Lichtsinn zu prüfen, da jene Abhängigkeit durch Lichtsinnstörungen wesentlich beeinträchtigt wird.

Seggel hat Tafeln mit verschiedenem Grund konstruiert, deren Buchstaben nach Art der Snellenschen Proben angeordnet sind; Tafel I hat weißen, die Tafeln II—IV haben grauen Grund in verschiedener Abstufung.

Eine Ametropie wird bei der Prüfung korrigiert. Bei normaler UE des helladaptierten Auges ist die S für die Tafel II noch dieselbe wie bei Tafel I, und von Tafel II bis Tafel IV nimmt die S ab in dem Verhältnis 3 : 2 : 1.

Ist S für Tafel II dieselbe wie für Tafel I und nimmt auf den Tafeln III und IV in stärkerem als dem angegebenen Verhältnis ab, so liegt eine reine Adaptationsstörung vor.

Wenn die S für die Tafel II geringer ist als für Tafel I, aber weiterhin auch ungefähr in dem Verhältnis 3 : 2 : 1 (oder selbst in etwas geringerem Verhältnis) abnimmt, so liegt nur eine Störung der UE vor. Bei Intoxikationsamblyopie kann die S bei sehr heller Beleuchtung vielleicht für Tafel I geringer sein als für II. Nimmt aber die für Tafel II schon herabgesetzte S auf den dunkleren Tafeln in stärkerem Verhältnis ab, so liegt gleichzeitig Adaptationsstörung vor.

Auch zum Ausschluß einer Lichtsinnstörung bei verminderter S kann die Prüfung dienen: Die S ist für Tafel II ebenso herabgesetzt wie für Tafel I, nimmt aber für die dunkleren Tafeln in deutlich geringerem Verhältnis ab, so daß sich für die dunkelste Tafel die

S der des normalen Auges nähert. Die Herabsetzung der S ist dann entweder durch einen optischen Fehler oder durch angeborene oder durch hysterische Schwachsichtigkeit bedingt.

Bjerrum hat zwei Tafeln mit hellgrauen Buchstaben auf weißem Grund herausgegeben (Liisberg, Kopenhagen), der Helligkeitsunterschied zwischen Buchstaben und Grund beträgt auf der einen Tafel etwa $^1/_{12}$, auf der zweiten Tafel etwa $^1/_6$. Bei Tagesbeleuchtung ist die S eines normalen Auges für die erste Tafel etwa = $^1/_3$ der normalen S. Stärkere Herabsetzung weist auf eine Störung der UE im Sinne einer neuroptischen Störung hin. Durch Herabsetzung der Beleuchtung kann man die Tafeln auch zur Prüfung auf Adaptationsstörung benutzen, indem bei einer solchen die S mit der Herabsetzung der Beleuchtung unverhältnismäßig stark abnimmt.

Reine Adaptationsstörungen lassen sich am besten mit Försters Photometer nachweisen, einem inwendig schwarzen Kasten, auf dessen einer Seite eine Öffnung zum Hineinsehen und ein kleiner Lichtbehälter für eine Normalkerze sich befindet; die Kerze beleuchtet durch ein quadratisches, durch Verschiebung zweier Winkelseiten vergrößerbares Diaphragma eine entsprechende Fläche weißen Seidenpapiers; die beleuchtete Fläche des Seidenpapiers dient als Beleuchtungsquelle für die auf der gegenüberliegenden Seite des Kastens befindlichen Sehproben (große Snellensche Buchstaben oder schwarze Striche auf weißem Grund). Die der Leuchtfläche proportionale Beleuchtungsintensität, bei der die Proben vom Grund unterschieden werden können, ergiebt die Reizschwelle. Ist diese nach einer Adaptationszeit von 15—20 Minuten noch erheblich erhöht, so liegt eine entsprechende Adaptationsstörung vor. Die Prüfung ist natürlich im Dunkelzimmer anzustellen.

Bei dichten Medientrübungen kann man die Lichtsinnprüfung nicht mehr bestimmt auf das Makulagebiet beschränken; hier ist sie aber gerade am wichtigsten, da die S und der Farbensinn des Netzhautcentrums hier gar nicht mehr oder nur sehr grob geprüft werden können, und die Beurteilung der Prognose z. B. für eine beabsichtigte Staroperation vor allem von dem Nachweis einer guten Leistung der Netzhaut abhängt.

Hier prüft man gewöhnlich so, daß man bestimmt, in welchem Abstand abwechselndes Verdecken und Freilassen einer Stearinkerze (oder einer Öllampe mit etwa gleichgroßer Flamme) im Dunkelzimmer noch in der Blickrichtung wahrgenommen wird. Das zweite Auge muß dabei sorgfältig und dicht verschlossen sein. Wird der Hellig-

keitswechsel auf wesentlich weniger als 6 m wahrgenommen, so ist der Lichtsinn herabgesetzt. Man kann auch den Augenspiegelreflex einer Flamme auf etwa 1 m Abstand benutzen und dabei auch prüfen, ob bei Vor- und Zurückgehen mit dem Spiegel um etwa 20 cm eine Zunahme und Abnahme der Helligkeit wahrgenommen wird. Dieses Verfahren dient auch zur Prüfung des Lichtsinnes und der Richtungswahrnehmungen peripherischer Netzhautteile. Bei geringer Adaptationstörung ist auch an den Einfluß etwaiger Miosis (s. S. 149) oder einer Medientrübung (s. S. 144) zu denken.

C. Der Farbensinn.

1. Physiologie des Farbensinnes.

Die Gesamtheit unserer Farbenempfindungen läßt sich nach drei Richtungen gliedern; dem Farbenton, der Helligkeit und der Sättigung. Der Farbenton ist die der Erregung durch Licht von bestimmter Wellenlänge entsprechende Art der Farbenempfindung; es giebt aber gewisse Farbentöne, die sogen. Purpurtöne, die nicht einer bestimmten Wellenlänge entsprechen, sondern nur durch Mischung von Lichtern mindestens zweier verschiedener Wellenlängen hervorgerufen werden können, nämlich der Wellenlängen, die einzeln die Empfindung von Spektralrot und Violett hervorrufen.

Bei Mischung von Lichtern verschiedener Wellenlängen ergiebt sich entweder ein Farbenton, der einer bestimmten Wellenlänge (oder einem bestimmten Purpurton) entspricht, oder eine farblose Lichtempfindung.

Ein Farbenton kann verschiedene Helligkeit haben, die mit der Helligkeit einer bestimmten farblosen Empfindung (Schwarz-Grau-Weiß-Empfindung) verglichen werden kann, und ferner verschiedene Sättigung, sozusagen verschiedene Grade der „Farbigkeit" im Vergleich mit einer gleich hellen farblosen Empfindung. Die verschiedenen Abstufungen eines Farbentones nach Helligkeit und Sättigung bezeichnen wir als Farbennüance.

Den folgenden Ausführungen über die Physiologie des Farbensinnes liegen vor allem die von G. E. Müller entwickelten Anschauungen zu Grunde, die trotz ihrer überzeugenden Klarheit noch ziemlich wenig Eingang bei den Ophthalmologen und Physiologen gefunden zu haben scheinen.

Denken wir uns lauter Farbenempfindungen von bestimmter

Helligkeit und dabei größtmöglicher Sättigung zusammengestellt und nach ihren Verwandtschaftsverhältnissen geordnet, so erhalten wir eine in sich zurücklaufende Reihe von Farbenempfindungen. Diese Empfindungsreihe hat 4 Abschnitte, innerhalb deren sich die Empfindungsqualität stetig und geradläufig (d. h. in konstanter Richtung) ändert, nämlich die 4 Reihen der rotgelben, gelbgrünen, grünblauen und blauroten Empfindungen (bei stetiger Änderung der Empfindung von rot bis gelb nimmt die Rötlichkeit ab, die Gelblichkeit zu, bis die Rotähnlichkeit verschwunden ist; bei weiterer Änderung nach dem Gelbgrün zu tritt eine Änderung von anderer Richtung auf, es beginnt eine Ähnlichkeit mit Grün). Eine Reihe von Empfindungen, innerhalb deren sich die Qualität geradläufig und stetig ändert, nennen wir eine psychische Qualitätenreihe. Eine solche Qualitätenreihe ist, wie Müller näher begründet, auf einen Hirnvorgang (einen „psychophysischen Prozeß“) zurückzuführen, der sich aus zwei (einfachen oder zusammengesetzten) Teilprozessen zusammensetzt, deren Intensitätsverhältnis sich stetig und geradläufig ändert. Die 4 Qualitätenreihen der Farbenempfindungen sind daher auf je zwei in ihrem Intensitätsverhältnis variable Hirnprozesse zurückzuführen, die wir als Rot-, Gelb-, Grün- und Blauprozeß bezeichnen können; jeder dieser Prozesse wäre für sich allein mit einer dieser Farbenempfindungen verbunden, durch Kombination je zweier dieser Prozesse kommen die Reihen der rotgelben, gelbgrünen, grünblauen und blauroten Empfindungen zu stande, die wir als Mischempfindungen bezeichnen können, gegenüber den nur durch einen Prozeß hervorgerufenen Grundempfindungen (die Mischempfindungen sind aber nicht „gemischte Empfindungen“, sondern ebenso einfache Empfindungen wie die Grundempfindungen, nur liegt ihnen eine Mischung zweier Hirnprozesse zu Grunde). Der Rotprozeß kommt aber nicht gleichzeitig mit dem Grünprozeß, der Gelbprozeß nicht gleichzeitig mit dem Blauprozeß vor, wir haben keine rotgrünen und keine gelbblauen Mischempfindungen (s. unten).

Die Reihe der Schwarzweißempfindungen ist ebenfalls eine psychische Qualitätenreihe, der zwei in ihrem Intensitätsverhältnis variable Grundprozesse, ein Schwarz- und ein Weißprozeß, entsprechen. Jeder Schwarzweißprozeß kann mit einem (einfachen oder zusammengesetzten) chromatischen Prozeß von gleicher Helligkeit eine Qualitätenreihe bilden, die die verschiedenen möglichen Sättigungsgrade für einen Farbenton von bestimmter Helligkeit darstellt.

Jeder solchen Reihe liegen also außer dem Schwarz- und Weißprozeß je zwei (oder für die Mischung mit Grundfarben nur einer) von 4 chromatischen Prozessen zu Grunde. Die Gesamtheit der so von allen Schwarzweißempfindungen mit allen Farbentönen von gleicher Weißlichkeit und Schwärzlichkeit herstellbaren Qualitätenreihen stellt die Gesamtheit aller unserer Gesichtsempfindungen dar. (Natürlich lassen sich auch von allen Schwarzweißempfindungen aus Qualitätenreihen mit irgendwelchen Farbentönen von beliebiger Helligkeit und Sättigung bilden).

Jeder Reihe von Gesichtsempfindungen, die eine psychische Qualitätenreihe bildet, liegt ein Netzhautprozeß zu Grunde, der aus zwei (einfachen oder zusammengesetzten) chemischen Teilvorgängen besteht, deren Intensitätsverhältnis sich geradläufig und allmählich ändert. Der Gesamtheit unserer Gesichtsempfindungen liegen daher 6 Netzhautprozesse zu Grunde, die man kurz als Weiß-, Schwarz-, Rot-, Gelb-, Grün- und Blauprozeß bezeichnen kann, weil ihnen in dem Fall, daß jeder von ihnen allein für den Zustand der Großhirnrinde maßgebend wäre, eine reine Weiß- u. s. w. Empfindung in unserem Bewußtsein entsprechen würde.

Daß wir keine gelbblauen und keine rotgrünen Empfindungen haben, läßt sich leicht durch die Annahme erklären, daß die der Rot- und Grünempfindung und ebenso die der Blau- und Gelbempfindung entprechenden chemischen Netzhautprozesse antagonistische Valenzen haben, d. h. auf je zwei in entgegengesetzter Richtung verlaufenden chemischen Reaktionen beruhen, die nur mit der Differenz ihrer Intensitäten auf den Sehnerven wirken. Überwiegen der einen Reaktion bewirkt Rot- resp. Gelbempfindung, Überwiegen der andern bewirkt Grün- resp. Blauempfindung. Überwiegt keiner der antagonistischen Prozesse, so entsteht nur eine Helligkeitsempfindung nach Maßgabe der Schwarzweißerregung. Bei Mischung zweier antagonistischer Farben (Gegenfarben) entsteht somit eine abgeschwächte Farbenempfindung nur der einen Art, oder eine farblose Empfindung. Der Rot- und der Grünprozeß spielen sich also an einem und demselben Material ab, und ebenso der Gelb- und der Blauprozeß. Wir können die durch die Umsetzungen des Rotgrünmaterials auslösbaren Empfindungen als Grünrotsinn, die durch die Umsetzungen des Blaugelbmaterials auslösbaren als Blaugelbsinn zusammenfassen.

Auch dem Weiß- und Schwarzprozeß liegen in der Netzhaut zwei antagonistische Prozesse zu Grunde, die nur mit der Differenz

ihrer Intensitäten auf den Sehnerven wirken, aber durch sie wird eine Weiß- oder Schwarzerregung der zentralen Sehsubstanz nicht erst hervorgerufen, sondern, da in dieser stets eine endogene Weiß- und Schwarzerregung (das subjektive Augengrau) zusammen vorhanden sind, die endogene Weisserregung erhöht oder vermindert und die endogene Schwarzerregung geschwächt oder verstärkt. Der Schwarzprozeß in der Netzhaut kann nicht direkt durch äußeres Licht hervorgerufen werden, sondern nur indirekt durch Kontrast (Folgewirkung einer Weißerregung auf dieselbe Stelle — successiver Kontrast —, physiologischer Einfluß einer weiß erregten Stelle auf ihre Nachbarschaft — simultaner Kontrast).

Diese in ihren Hauptzügen dargelegte Farbentheorie G. E. Müllers ist eine Modifikation von Herings Theorie der Gegenfarben, bei der der eine von je zwei antagonistischen Prozessen auf Assimilation, der andere auf Dissimilation von Sehsubstanzen zurückgeführt wurde.

Nach der immer noch viele Anhänger zählenden, von Young begründeten und von v. Helmholtz u. A. weiter ausgebildeten Theorie, die wir mit ihren Modifikationen unter dem Namen Young-Helmholtzsche Theorie zusammenfassen, wird die Gesamtheit unserer Licht- und Farbenempfindungen auf die Wirkung dreier verschiedener Nervenendapparate in der Netzhaut zurückgeführt, von denen jeder, für sich allein erregt, die reinste Rot- resp. Grün- oder Violettempfindung bewirken würde, die als Grundempfindungen angenommen werden. Jeder der Endapparate ist gegen Licht von bestimmter Wellenlänge am empfindlichsten, der erste gegen das sogenannte objektive rote, der zweite gegen das grüne, der dritte gegen das violette Licht. Jeder Endapparat wird auch durch Licht von anderer Wellenlänge, aber wesentlich schwächer (und durch eine gewisse Wellenlänge am schwächsten) erregt. Durch überwiegende Erregung eines Apparates, bei gleichmäßig schwacher Erregung der beiden andern kommt die Erregung einer Grundfarbe zu stande; den wechselnden Intensitätsverhältnissen der Grunderregungen entsprechen die verschiedenen Mischfarben.

Gleichstarke Erregung aller drei Endapparate bewirkt eine farblose Helligkeitsempfindung; eine solche ist immer durch je zwei verschiedene Lichtarten auslösbar, die man als Komplementärfarben bezeichnet; es giebt zu jeder Farbe eine andere, die, mit ihr gemischt, eine farblose (grauweiße) Empfindung bewirkt.

Gewisse Thatsachen besonders der Pathologie des Farbensinnes lassen die HELMHOLTZsche Theorie als nicht mehr annehmbar erscheinen.

Es ist wahrscheinlich, daß sich die chromatischen Prozesse nur in den Zapfen abspielen, die Schwarzweißprozesse in den Zapfen und den Stäbchen; die letzteren sind besonders zu rascher Adaptation in der Dunkelheit fähig (v. KRIES, PARINAUD).

Über die Verteilung des Farbensinnes im Gesichtsfeld s. II. Kap. A. Physiologie des Gesichtsfeldes (S. 174).

2. Störungen des Farbensinnes.

Farbensinnstörungen kommen angeboren, sowie infolge krankhafter Vorgänge erworben vor.

I. Angeborene Farbensinnstörungen.

Diese betreffen — abgesehen von lokalen anatomischen Bildungsfehlern der Netzhaut und Aderhaut und intrauterin erworbenen krankhaften Veränderungen — stets das ganze Gesichtsfeld.

Sehr selten ist angeborene vollständige Farbenblindheit, indem überhaupt nur Helligkeitsunterschiede wahrgenommen werden. Nach der Theorie der Gegenfarben fehlen hier die chromatischen Netzhautprozesse, nach der HELMHOLTZschen Theorie wären die drei Farbenapparate hinsichtlich ihrer Erregbarkeit durch verschiedenfarbiges Licht nicht differenziert, jeder Endapparat würde durch alle Wellenlängen gleich stark erregt.

Weitaus häufiger ist partielle Farbenblindheit, und zwar gewöhnlich in der Form des Ausfalles der Grün- und Rotempfindung. Dabei giebt es zwei verschiedene Typen: beiden erscheint das Spektrum nur aus einer Gelb- und einer Blaureihe zusammengesetzt, aber die Einen sehen das äußerste Spektralrot sowie ein gewisses Blaugrün farblos, den anderen erscheint das äußerste Spektralrot noch gelblich und das Urgrün des Farbentüchtigen sowie ein bestimmter Purpurton farblos. Grünrotblinde vom ersten Typus wurden von VON HELMHOLTZ als „Rotblinde" bezeichnet, die des zweiten Typus als „Grünblinde"; VON KRIES schlägt dafür die Bezeichnung Protanopen und Deuteranopen vor, G. E. MÜLLER nennt sie in Anlehnung an die Bezeichnungen von VON HELMHOLTZ, Rotgrün-Blinde und Grünrot-Blinde.

Nach G. E. MÜLLER fehlt beim ersten Typus überhaupt der Grünrotprozeß in der Netzhaut, beim zweiten Typus fehlt er nicht

ganz, sondern er läuft nur unvollkommen ab, indem er nicht zu einer Rot- resp. Grünerregung des Sehnerven führt, jedoch eine mittelbare Steigerung des Gelb- resp. Blauprozesses bewirkt.

Nach von von Helmholtz und König sind bei beiden Typen der Grün- und Rotapparat einander ähnlich geworden, so daß diese durch spektralrotes oder durch grünes Licht in gleichem Verhältnis erregt werden, aber beim ersten Typus durch rotes Licht nur schwach, durch grünes stark, beim zweiten Typus durch beide Lichtarten annähernd gleichstark. Nach von Kries sind die beiden Dichromatentypen verschiedene Reduktionsformen des normalen Systems; bei den Fällen der einen Art fällt die eine, bei denen der anderen Art die zweite von den drei Komponenten des farbentüchtigen Systems aus (im wesentlichen die ursprüngliche v. Helmholtzsche Ansicht).

Die Anhänger der Young-Helmholtzschen Theorie nehmen immer noch ohne zureichenden Grund an, daß das Vorhandensein dieser beiden Typen von Grünrotblinden mit einer Vierfarbentheorie unvereinbar sei. G. E. Müller hat gezeigt, daß dies durchaus nicht der Fall ist, und für die Erklärung der beiden Typen eine geistreiche oben nur angedeutete Hypothese aufgestellt, deren Darlegung hier zu weit führen würde.

Eine andere Form partieller Farbenblindheit, die Blaugelb-Blindheit, ist äußerst selten. Auch hier sind zwei Gruppen zu unterscheiden: bei der einen liegen die neutralen Punkte des Spektrums im reinen Gelb und im reinen Blau des Farbentüchtigen (das violette Ende des Spektrums kommt mit einer Rotvalenz zur Geltung); bei der zweiten Gruppe liegt die eine neutrale Stelle im Gelbgrün, die andere im Violett (das Violettende des Spektrums ist verkürzt).

Es kommen auch Fälle von partieller Farbensinnschwäche vor, indem der Grünrotsinn nicht ganz fehlt, sondern nur schwach entwickelt ist.

II. Erworbene Farbensinnstörungen.

Die erworbenen Farbensinnstörungen sind physiologisch noch nicht genügend untersucht. Wir können im allgemeinen zwei Hauptgruppen unterscheiden, die eine, bei der der Gelbblausinn verhältnismäßig stärker geschädigt ist als der Grünrotsinn, und die andere, bei der das Umgekehrte der Fall ist. Die Störungen können auf bestimmte Gesichtsfeldteile beschränkt sein; sie sind am auffallendsten und am leichtesten nachweisbar, wenn das Zentrum des Gesichtsfeldes betroffen ist. Hier beschreiben wir nur die Störungen des

Farbensinnes der Netzhautmitte, des gewöhnlich sogen. zentralen Farbensinnes, cF.

Die überwiegende Schädigung des Blaugelbsinnes kommt bei Erkrankungen und Ernährungsstörungen der äußeren Netzhautschichten vor und ist wahrscheinlich durch eine Störung der farbenchemischen Prozesse in der Netzhaut bedingt. Diese Störungen sind stets mit Adaptationsstörungen verbunden.

Eine überwiegende Schädigung des Grünrotsinnes findet besonders bei Störungen des leitenden Apparates statt; der Art nach entsprechen diese Störungen ungefähr einer angeborenen Schwäche des Grünrotsinnes. Man bezeichnet die Störungen der ersten Art auch als photochemische, die der zweiten als neuroptische Farbensinnstörungen (Wolffberg).

Ungefähr gleichmäßige Herabsetzung des Blaugelb- und des Grünrotsinnes kann durch Kombination jener beiden Formen oder auch durch Störungen der Wahrnehmungszentren bedingt sein. Auch Simulation kommt hier in Frage. Ist gleichzeitig eine deutliche Adaptationsstörung vorhanden, so liegt jedenfalls eine photochemische Störung vor, die dann noch entweder mit einer neuroptischen oder mit einer cerebralen Störung kombiniert ist.

Von zwei antagonistischen Farbenempfindungen kann auch nur die eine allein beeinträchtigt sein, und zwar entweder durch Absorption gewisser Wellenlängen durch eine Störung der brechenden Medien, oder durch toxische Wirkungen auf die Netzhaut oder die Sehzentren, oder auch durch rein funktionelle Störungen in den Wahrnehmungszentren, endlich vorübergehend durch vorausgegangene starke Reizung der Netzhaut durch Licht bestimmter Qualität (sogen. Ermüdung der Netzhaut). Bei diesen Fällen kann das ganze Gesichtsfeld oder einzelne Teile desselben eine besondere Färbung zeigen — „subjektives Farbensehen" —, wobei farblose Gegenstände in der betreffenden subjektiven Farbe erscheinen, während farbige Gegenstände eine Tonänderung zeigen, wie wenn sie mit dem subjektiven Farbenton gemischt wären.

Bei Hysterie kommen sowohl mit wie ohne subjektives Farbensehen Störungen des Farbensinnes vor, die nicht mit dem Verhalten irgendwelcher organisch bedingter Störungen übereinstimmen; es wird z. B. nur Grün nicht wahrgenommen, oder Grün und Blau nicht, während Rot und Gelb erkannt werden und selbst mit normaler Feinheit wahrgenommen werden können. Mischungen aus einer richtig wahrgenommenen und einer dem Patienten grau erscheinenden

Farbe (auf dem Farbenkreisel) erscheinen in solchen Fällen gewöhnlich in der richtigen Mischfarbe.

Eine Übersicht der Erkrankungen, die zu Farbensinnstörungen des Netzhautzentrums führen, wird bei den Gesichtsfeldstörungen (S. 194) gegeben.

3. Die Prüfung des Farbensinnes.

I. Quantitative Farbensinnprüfung.

Wir besprechen zuerst die Prüfung des zentralen Farbensinnes (c F), in Rücksicht auf die Frage, ob eine nachweisbare Verminderung der Feinheit des c F, wie sie besonders durch krankhafte Vorgänge erworben wird, vorliegt. Dabei ergeben sich auch Anhaltspunkte für etwaiges Vorhandensein angeborener Farbensinnstörungen, deren Feststellung und nähere Charakterisierung dann noch besondere Methoden erfordert.

Für die Prüfung des c F finden zweierlei Methoden praktische Anwendung: Die Feststellung der geringsten Sättigung, bei der verschiedene Farbentöne von bestimmter Helligkeit bei bestimmtem Kontrast gegen die Umgebung und bei bestimmten Gesichtswinkel unterschieden werden können, und die Bestimmung des kleinsten Gesichtswinkels, unter dem Farben von bestimmter Helligkeit und Sättigung bei bestimmtem Kontrast erkannt werden. Da bei diesen Prüfungsmethoden die Feinheit der Farbenwahrnehmung nach der Quantität des farbigen Lichtes gemessen wird, bezeichnen wir diese Methoden als quantitative Farbensinnprüfung, zum Unterschied von der qualitativen Prüfung, bei der festgestellt wird, ob das Auge gegen bestimmte Farbentöne unempfindlich ist.

a) Prüfung der Feinheit der Farbenunterscheidung bei geringster Sättigung. Hierfür eignet sich die Farbentafel von Ole Bull („chromatoptometrische Tabelle von Dr. Ole Bull," Christiania 1882): Auf schwarzem Grunde befinden sich zehn Reihen farbiger und grauer Quadrate von 1 cm; jede Reihe enthält blaue, gelbe, rote und grüne Quadrate von gleicher Helligkeit und Sättigung und ein oder zwei graue Quadrate von gleicher Helligkeit wie die farbigen. Die Sättigung nimmt von der stark gesättigte Farbentöne enthaltenden untersten Reihe nach oben allmählich ab; in der obersten, mit 1 bezeichneten Reihe sind die einzelnen Quadrate bei normalem Farbensinn noch eben nach ihrem Ton voneinander zu unterscheiden. Bei der untersten Reihe beträgt die Sättigung das 18 fache der Sättigung der Reihe Nr. 1. Für farben-

blinde Ärzte ist zur Kontrolle eine die Farben der verschiedenen Reihen durch Zeichen markierende Tafel beigegeben. Man prüft auf 1 m Abstand, eine Ametropie braucht nur dann annähernd korrigiert zu werden, wenn die Quadrate nicht mehr deutlich durch den schwarzen Grund getrennt erscheinen. Die Tafel ist so zu stellen, daß sie keinen spiegelnden Reflex zeigt. An den untersten Reihen wird dem Untersuchten erklärt, daß es darauf ankommt, zu einem gezeigten Quadrat ein gleiches in derselben Reihe herauszufinden; so lange die Farben noch gut bezeichnet werden können, kann man zur Abkürzung die Benennung der Farben gelten lassen. Bei den obersten Reihen sind aber viele nicht imstande, den Farbenton bestimmt anzugeben, obwohl sie die verschiedenen Quadrate noch voneinander unterscheiden und die gleichen richtig zusammenfinden können, und darauf nur kommt es an. Werden in einer bestimmten Reihe noch für alle Farben die zusammengehörigen Quadrate herausgefunden und besteht in der nächsten Reihe Unsicherheit für alle Farben, so ist der Grad von cF durch die über jener Reihe stehende Zahl auszudrücken. Ist die Empfindlichkeit für einzelne Farben verschieden, so ist cF für jede Farbe einzeln zu bestimmen.

Ist cF für Blau und Gelb gleich 1, aber für Rot und Grün wesentlich geringer, so ist angeborene Grünrotblindheit wahrscheinlich, und zwar ist diese sicher, wenn schon bei Nr. 18 Rot mit Grün verwechselt wird; in diesem Fall handelt es sich um Grünrotblindheit (Deuteranopie); bei Rotgrünblindheit werden auch höhere Reihen noch unterschieden, aber gewöhnlich wird in den gesättigteren Reihen das Rot als Blau oder bläulich bezeichnet. Im Zweifelsfall ist noch mit den unter b angeführten Methoden zu untersuchen.

Allgemeine Herabsetzung von cF, aber mit stärkerer Schädigung für Grün und Rot, weist auf neuroptische Störungen.

Wird dagegen cF für Rot und Gelb besser gefunden als für Blau und Grün, indem zuerst Verwechslung der blauen und grünen Quadrate eintritt (indem auch die blauen gewöhnlich als grünlich bezeichnet werden), und erst bei höheren Reihen Verwechslung von Rot mit Gelb (beide werden meist als rötlich bezeichnet), so liegt eine photochemische Störung vor. (In Wirklichkeit handelt es sich um eine stärkere Schädigung des Blau- und Gelbsinnes im Vergleich mit dem Grünrotsinn; die Unterscheidung des Blau vom Grün ist nur darum schwieriger als die des Gelb vom Rot, weil das Blau der Tafel einen grünblauen Ton hat und dem Grün der Tafel näher steht, als das Gelb dem Rot; auch in der Reihe, in der Gelb

nicht mehr sicher vom Rot unterschieden wird, werden Rot und Grün noch voneinander unterschieden).

Verhältnismäßig sehr genaue Untersuchungen lassen sich mit dem Chromatoptometer von Chibret anstellen, das durch Polarisation beliebige Komplementärfarben in variabler Sättigung miteinander vergleichen läßt. Das Instrument eignet sich auch gut zur Prüfung auf angeborene Farbenblindheit.

Bei Vorhandensein von Medientrübungen ist eine Farbensinnstörung und ihre Art schwieriger festzustellen, da durch die Trübung die Wahrnehmung der Farben auch mehr oder weniger beeinträchtigt wird, und zwar für alle Farben annähernd gleich stark, aber für Rot meist am wenigsten.

b) Prüfung durch Bestimmung des kleinsten Gesichtswinkels, unter dem Farben von bestimmter Sättigung und Helligkeit erkannt werden. Diese Bestimmung wurde zuerst von Donders geübt. Hierbei haben die optischen Verhältnisse einen größeren Einfluß, als bei der eben besprochenen Methode, optische Fehler müssen daher mindestens soweit korrigiert werden, daß die Farbenproben innerhalb des Prüfungsspielraumes annähernd scharf begrenzt erscheinen.

Für diese Prüfung wurden von Donders, Dor, Masselon, Wolffberg u. a. besondere Farbenproben aufgestellt. Man kann auch die verschiedenen im Gebrauch befindlichen Farbenobjekte zur Gesichtsfeldprüfung benutzen, oder auch farbige Gläser im durchfallenden Licht (Snellen, Grossmann, Eversbusch). Sehr bequem sind die Proben der Wolffbergschen Gesichtsfeldobjekte; bei geringeren Störungen benutzt man die kleinsten Proben von 3 mm Durchmesser, bei ausgeprägteren die 15 mm-Objekte, bei hochgradigen Störungen die Quadrate von 10 cm Seite.

Die Variation des Gesichtswinkels geschieht gewöhnlich durch Bestimmung des größten Abstandes, in dem Proben von bestimmter Größe bei Annäherung von der Ferne richtig erkannt werden.

Im allgemeinen gilt bei diesen Methoden, daß vom normalen Auge Rot und helles Gelb unter erheblich kleinerem Gesichtswinkel erkannt werden, als Blau und Grün; das Verhältnis zwischen diesen beiden, sowie zwischen Rot und Gelb ist je nach der Beschaffenheit der Proben verschieden. Es bedarf zur Verwertung dieser Proben der individuellen Erfahrung, zumal da sie auch von den Beleuchtungsverhältnissen der ärztlichen Sprechzimmer (besonders wegen des

wechselnden Prüfungsabstandes) merklich abhängig sind. Ein bestimmter allgemein gültiger Maßstab läßt sich daher nicht aufstellen; nur für die Prüfung mit farbigen Gläsern bei bestimmter Helligkeit des durchfallenden Lichtes wäre dies möglich. Es bedarf aber überhaupt noch eingehender Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Methoden zur Bestimmung erworbener Farbensinnstörungen.

Das Wesentliche hinsichtlich der krankhaften Störungen ist auch bei diesen Methoden, daß die Erkennbarkeit der verschiedenen Farben durch photochemische, neuroptische und funktionelle Störungen in mehr oder weniger charakteristischem Verhältnis beeinträchtigt wird. Auch sehr kleine centrale Skotome können leicht mit Farbenproben von kleinstmöglichem Gesichtswinkel nachgewiesen werden, indem im Grenzabstande des sicheren Erkennens die Farben excentrisch deutlicher (gesättigter) erscheinen. Ermüdung der Fovea (Auftreten von Nachbildern) ist bei dieser Prüfung zu vermeiden.

II. Qualitative Farbensinnprüfung.

Diese dient vor allem der Feststellung angeborener Farbenblindheit.

Für genaue streng wissenschaftlichen Anforderungen entsprechende Untersuchungen eignet sich am besten die Untersuchung mit spektroskopischen Apparaten (besonders dem von König verbesserten Helmholtzschen Spektralphotometer sowie Chibrets Chromatoptometer), welche Lichter beliebiger Wellenlängen von beliebiger Helligkeit und Sättigung miteinander vergleichen lassen.

Für praktische Zwecke genügt im allgemeinen die Seebeck-Holmgrensche Wollprobe und ihre Modifikationen. Aus der Sammlung zahlreicher farbiger Wollbündel legt man dem Untersuchten eine matt hellgrüne Probe vor, die weder eine bläuliche noch eine gelbliche Beimischung hat, und läßt hierzu alle gleichfarbigen (auch hellere und dunklere) Bündel sammeln; werden graue Proben dazu gelegt, so liegt Grünrotblindheit vor; werden außerdem auch Purpurtöne zugelegt, so handelt es sich um den Typus der Deuteranopie (Grünblindheit, Grünrotblindheit). Zulegen von braunen Farbtönen und von Tönen, die dem (mittleren) Spektralrot entsprechen, weist auf Protanopie („Rotblindheit", Rotgrünblindheit). Zur weiteren Kontrolle (besonders wenn die vorigen Proben kein genügend deutliches Resultat ergeben haben), legt man ein Rosabündel (matt hellpurpur) vor; wer

hierbei keinen Fehler macht, wohl aber bei der ersten Probe graue Bündel zugelegt hat, hat schwachen Farbensinn für Rot und Grün (unvollständige Grünrotblindheit); wer Blau und Violett und eventuell Grünblau zum Purpur legt, ist Protanop; reines Grün oder Grau zum Purpur gelegt weist auf Deuteranopie.

Man kann aus der großen Zahl der Wollbündel etwa 20 auslesen, unter denen hauptsächlich auch die Übergangstöne von Violett durch Purpur zu Spektralrot und von Gelbgrün zu Blaugrün sowie einige braune Töne vertreten sein müssen, und dem Patienten aufgeben, die Farben nach ihren Ähnlichkeitsverhältnissen zu ordnen, hierbei werden stets Fehler in dem oben angegebenen Sinn gemacht, die für den einen oder den anderen Typus von Grünrotblindheit charakteristisch sind.

In der Farbentafel von Daae ist die Holmgrensche Methode in eine bequeme abgekürzte Form gebracht: Die charakteristischen Verwechselungsfarben sind in Reihen auf Papier gestickt, man läßt alle scheinbar gleichfarbigen Reihen auswählen: giebt dies kein sicheres Resultat, so läßt man, wie oben beschrieben, zu einem blassen Grün und dann zu einem blassen Purpur die gleichen und ähnlichen auf der Tafel angeben. Die Bezeichnung der senkrechten Kolonne mit Buchstaben und der wagrechten mit Zahlen (wie beim Schachbrett) ermöglicht eine bequeme Protokollierung der verwechselten Farben.

Ganz analog wie die Holmgrenschen Wollproben kann man nach Adlers Vorschlag Farbenstifte (Ölkreide, Pastellstifte) benutzen. Läßt man mit den zu einem bestimmten Stift als gleich ausgesuchten oder mit den nach der Ähnlichkeit geordneten Stiften auf weißem Papier schreiben (am besten den vom Patienten gewählten Namen der Farbe), so hat man ein Protokoll über die Prüfung, das man nach Görtz' Vorschlag den Untersuchten unterschreiben lassen kann (besonders empfehlenswert für Bahnärzte).

Stilling hat „pseudoisochromatische Tafeln“ hergestellt, die teils Zeichen mit einer vom Grund verschiedenen, für den Farbenblinden aber erkennbaren Farbe, teils Zeichen mit einer vom Farbenblinden vom Grund nicht unterscheidbaren Farbe enthalten; der Grund besteht aus Flecken von einerlei Farbe, aber verschiedener Helligkeit, um die aus Flecken anderer Farbe hergestellten Zeichen nur durch ihre Farbe erkennbar zu machen und eine Erkennung aus der Form allein auszuschließen.

W. A. Nagel hat brauchbare „Tafeln zur Diagnose der

Farbenblindheit" ausgegeben, die Ringe mit farbigen Tüpfeln enthalten, teils Farbentüpfel von gleichem Ton (mit verschiedener Helligkeit), teils solche mit Verwechselungsfarben der beiden Typen von Grün-rotblinden, teils verschiedenfarbige, auch für den Grünrotblinden unterscheidbare Tüpfel. Die Tafeln eignen sich aber wegen der Kleinheit der Proben nicht gut zum Nachweis oder Ausschluß angeborener Farbenblindheit, wenn gleichzeitig stärkere Herabsetzung der S mit wahrscheinlich erworbener Farbensinnstörung vorliegt.

Auf dem Farbenkontrast, der bei grauen Figuren auf farbigem Grund beobachtet wird, wenn ein weißes Florpapier darübergedeckt wird, beruhen die Tafeln von Meyer, von Pflüger, und das „Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinnes" von Cohn, (16 schwarze E-Haken in 4 Reihen auf purpurnem Grund; wer die Haken unter dem Flor richtig als grün erkennt, hat feinen Farbensinn, andernfalls ist der Farbensinn noch weiter zu untersuchen).

II. Kapitel. Die Verteilung der Wahrnehmungsleistungen im Gesichtsfeld.

A) Physiologie des Gesichtsfeldes.

Das Gesichtsfeld ist der von einem unbewegten Auge übersehene Raumausschnitt, dessen Ausmaß durch seine Schnittlinie mit einer zum Auge (annähernd zum Mittelpunkt der Pupille) konzentrischen Kugelfläche dargestellt wird. Die Messung geschieht mittels des Perimeters, eines Instruments, das im wesentlichen aus einem in Grade geteilten, drehbaren Halbkreis besteht, in dessen Krümmungsmittelpunkt sich das zu prüfende Auge befindet (weiteres s. unter Gesichtsfeldprüfung S. 182). Zur Aufzeichnung des Gesichtsfeldes dient ein Gesichtsfeldschema, das eine Abbildung der (Halb)-Kugelfläche darstellt, auf die das Gesichtsfeld projiziert wird.

Das zweckmäßigste Schema ist das Förstersche, das eine Abbildung durch Abwicklung der Halbkugelfläche längs der Meridiane vom Fixierpunkt als Pol aus darstellt (wie eine Polarkarte der nördlichen oder der südlichen Erdhälfte); die Meridiane des Schemas, die von 20 zu 20°, oder einfacher von 45 zu 45°, eingezeichnet sind, bilden also vom Fixierpunkt ausgehende gerade Linien, die den Halbmeridianen

des Auges entsprechen; die konzentrischen, gleich weit voneinander abstehenden Parallelkreise entsprechen gleichbreiten Netzhautzonen, sie sind in Intervallen von je 10° eingezeichnet. Die Zählung der Meridiane beginnt am oberen Vertikalmeridian und läuft für das rechte Auge nach rechts, für das linke nach links herum bis 360°.

Bei dem nach demselben Prinzip konstruierten NIEDENschen Schema werden die Meridiane vom linken horizontalen Meridian an im Sinne des Uhrzeigers numeriert.

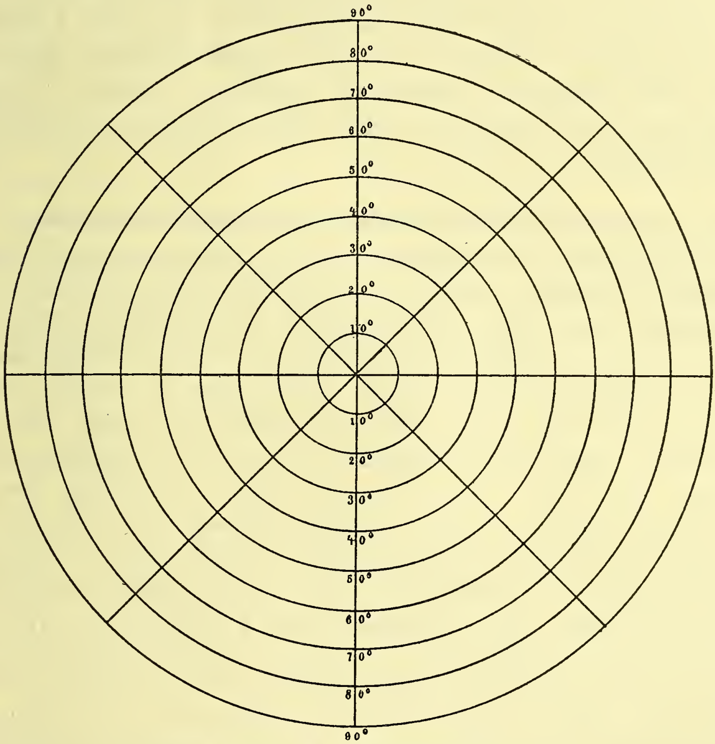


Fig. 56. Gesichtsfeldschema.

Sehr bequem und vollständig genügend ist ein Schema nach dem Prinzip des FÖRSTERschen, in dem der vertikale und der horizontale Meridian, sowie die beiden diagonalen Meridiane aufgezeichnet sind. Meist genügt es, die Gesichtsfeldgrenzen in diesen 8 Radien zu bestimmen; im Bedürfnisfalle können nach Belieben auch auf dazwischenliegenden Radien die Grenzen markiert werden, ohne daß die Radien selbst ausgeführt werden. Das Schema läßt sich

bequem für das linke, wie für das rechte Auge verwenden, indem man das nasale und temporale Ende des horizontalen Meridians für das betreffende Auge mit *N* und *T* oder mit *J* (innen) und *A* (außen) bezeichnet. (S. Fig. 56.)

Die Außengrenze des Gesichtsfeldes stellt die absolute Grenze des Empfindungsbereiches des Gesichtssinnes dar. Innerhalb des Gesichtsfeldes zeigen die einzelnen Leistungen der Empfindung eine verschiedene Verteilung; im allgemeinen nehmen sie vom Zentrum (Fixierpunkt) aus nach allen Richtungen bis zur Peripherie ab, aber in verschiedener Weise. Die Verteilung der einzelnen Leistungen im Gesichtsfeld ist mehr oder minder genau meßbar, indem wir Zonen für bestimmte Leistungen abgrenzen können: relative Grenzen, die ebenfalls in ein Gesichtsfeldschema eingetragen werden können.

1. Außengrenze oder absolute Grenze des Gesichtsfeldes.

Streng genommen würde die absolute Gesichtsfeldgrenze durch die Grenze bestimmt, bis zu der eine helle Lichtflamme bei dunkeladaptiertem Auge wahrgenommen wird. Unter Außengrenze verstehen wir aber gewöhnlich nicht diese im strengen Sinne absolute Grenze, sondern die etwas engere Grenze, bis zu der ein nicht zu kleines, gegen den Grund gut kontrastierendes Objekt vom helladaptierten Auge wahrgenommen wird. Der Helligkeitsunterschied zwischen Objekt und Grund sowie die Größe des Objektes kann für ein normales Auge in ziemlich weitem Umfange variieren, ohne daß die damit gefundene Außengrenze sich merklich ändert. Das ist das physiologische Gesichtsfeld unter gewöhnlichen Verhältnissen. Ein weißes Objekt von mindestens 1 cm^2 auf schwarzem Grund ergiebt selbst bei herabgesetzter Funktion der Netzhautperipherie meist noch die wirkliche Außengrenze; eventuell ist aber zu deren Feststellung ein größeres Objekt, bis 2 cm^2, erforderlich. (In der temporalen Gesichtsfeldhälfte nähert sich bei noch größeren Objekten die Außengrenze der absoluten.)

Senn hat den geringstnötigen Helligkeitsunterschied bestimmt, den ein kreisrundes graues Objekt von 1 cm Durchmesser haben müßte, um auf einem Grund von mittlerem Grau, dem von Hegg eingeführten „Neutralgrau“, von einem normalen Auge noch bis zu derselben Grenze wahrgenommen zu werden, wie ein gleich großes weißes Objekt (bei Helladaptation und guter Beleuchtung); er bezeichnete jene graue Nuance als „Grenzgrau“.

Die Außengrenze ist in geringem Grade von der Pupillenweite abhängig und kann schon deswegen für ein und dasselbe Auge kleine Schwankungen zeigen.

Der Bau des Auges beeinflußt das Gesichtsfeld insofern, als die vordere Grenze der Netzhaut bei achsenverlängerten Augen (also bei Kurzsichtigen) etwas mehr nach hinten liegt und dadurch ein etwas kleineres Gesichtsfeld bedingt wird als bei Emmetropen; ganz entsprechend ist bei achsenhypermetropischen Augen das Gesichtsfeld durchschnittlich etwas größer als bei Emmetropen. Durch Akkommodation wird das Gesichtsfeld normalerweise auch etwas vergrößert, da sie mit einem Vorrücken der vorderen Netzhautzone verbunden ist (s. übrigens auch S. 188, paradoxe Gesichtsfeldeinengung).

Temporal vom Fixierpunkt liegt der etwa 5° im Durchmesser haltende blinde Fleck, seine nasale Grenze ist durchschnittlich 12°, seine temporale 17° vom Fixierpunkt entfernt.

Die Form der normalen Außengrenze bildet ein unregelmäßiges excentrisches Oval, indem die Grenze nach außen und außen unten sich am weitesten vom Fixierpunkt entfernt. Als durchschnittlich normale Grenzen in den senkrechten, wagrechten und diagonalen Meridianen können wir die folgenden ansehen:

oben	außen oben	außen	außen unten
60°	75°	95°	93°
unten	innen unten	innen	innen oben
75°	60°	62°	62°

(vgl. auch Fig. 57 und 58 S. 181).

Als kleinstes physiologisches Gesichtsfeld können wir ein Gesichtsfeld ansehen, das in allen Meridianen 5° enger ist als das angegebene Durchschnittsgesichtsfeld (es fällt ziemlich genau mit dem von Förster angegebenen kleinsten physiologischen Gesichtsfeld zusammen); engere Grenzen sind als sicher nicht mehr normal anzusehen, aber selbst bei normalen Außengrenzen können Störungen der Netzhautleistungen auch in der Peripherie des Gesichtsfeldes vorliegen (s. nächsten Abschnitt).

2. Relative Grenzen (Grenzen für bestimmte Wahrnehmungsleistungen).

Die relativen Grenzen kommen praktisch hauptsächlich für das helladaptierte Auge in Betracht.

a) Der **Lichtsinn** (Unterschiedsempfindlichkeit) ist normalerweise im ganzen Gesichtsfeld annähernd gleich, nur nahe der Außengrenze zeigt er in einer Zone von etwa 15° Breite eine

mäßige Abnahme, ferner ist er im Zentrum etwas geringer als paracentral (vgl. S. 158). Als praktisch brauchbares Maß kann im ganzen Gesichtsfeld, besonders aber für die Grenzzone, die Wahrnehmung des Grenzgrau (auf neutralgrauem Grund) dienen. Eine bis höchstens 3^0 engere Grenze für das Grenzgrau gegenüber dem Weiß kann noch als physiologisch gelten. Für die Prüfung des Lichtsinnes an der Peripherie des Gesichtsfeldes kann man auch die schwarzsammetene Rückseite der Wolffbergschen Proben auf schwarzem Perimetergrund benutzen, ihre Grenze ist normalerweise etwa 3^0 durchschnittlich enger als die Weißgrenze.

Bei Herabsetzung der Beleuchtung ist die Unterschiedsempfindlichkeit zunächst erheblich verringert, um allmählich durch die Adaptation wieder bis zu einem gewissen Grade zu steigen. Dementsprechend sind die Grenzen für bestimmte Objekte zuerst verringert, mit der Adaptation nähern sie sich allmählich — je nach dem Netzhautzustand mit verschiedener Geschwindigkeit — wieder einem gewissen Grenzwert, was Wilbrand als Erholungsausdehnung bezeichnet. Der zeitliche Ablauf dieses Vorgangs hängt von dem vorausgegangenen Reizzustand der Netzhaut, sowie von etwaigen krankhaften Störungen der Adaptation ab; solche Störungen können daher erkannt werden, wenn der Verlauf der Erholungsausdehnung wesentliche Abweichungen von der Norm zeigt. Wilbrand prüft diese Erholungsausdehnung mit Leuchtpapieren im Dunkelzimmer. Die unter B angegebenen Prüfungsmethoden sind ausreichend.

b) Der **Farbensinn** nimmt im Gesichtsfeld vom Centrum nach der Peripherie ziemlich rasch ab, und zwar für die Hauptfarben Rot und Grün rascher, als für Blau und Gelb; innerhalb der gelblich pigmentierten Macula ist die Empfindlichkeit für Blau etwas geringer, als in deren nächster Umgebung. Die Grenze, bis zu welcher farbige Objekte in ihrem richtigen Farbenton erkannt werden, hängt objektiv von der Größe des Objektes, ferner von Farbenton, Sättigung und Helligkeit des Objektes, sowie des hinter dem Objekt befindlichen Grundes ab.

Sehr helle und dabei möglichst gesättigte Farbenobjekte können bis zur absoluten Grenze des Gesichtsfeldes erkannt werden, es ist also normalerweise keine Zone der Netzhaut ganz farbenblind.

Es giebt nur vier Farbentöne, die bei gleichbleibenden sonstigen Bedingungen ihren Farbenton vom Centrum (resp. der paramaculären Zone) nach der Peripherie hin nicht ändern, sondern lediglich an

Sättigung abzunehmen scheinen, bis sie grau erscheinen; sie entsprechen den Heringschen Urfarben, die man daher auch als (im Gesichtsfeld) unveränderliche Farben bezeichnet. (Absolute Unveränderlichkeit ist indes nicht erreichbar, da der Zustand der Netzhaut unter dem Einfluß äußerer und innerer Erregungen fortwährend schwankt.)

Die Grenzen für unveränderliches Rot und Grün von gleicher Sättigung und Helligkeit fallen unter sonst gleichen Bedingungen zusammen, ebenso die Grenzen für unveränderliches Blau und Gelb von gleicher Sättigung und Helligkeit (Hess). Dies zeigt sich am deutlichsten, wenn man die Farben auf grauem Grund von gleicher Helligkeit (Weißvalenz) prüft, wobei die Farben auch sofort in ihrem Ton wahrgenommen werden, sobald sie überhaupt vom Grunde unterschieden werden. Dafür eignet sich besonders die Prüfung mit den Farbenproben von Hegg (Bern) oder von Edouard (Paris) auf dem neutralgrauen Grund des Pflügerschen Perimeters.

Andere als jene unveränderlichen Farbentöne nähern sich nach der Peripherie hin je nach ihrem Gehalt an Gelb oder Blau dem reinen Gelb oder Blau, ehe sie farblos werden.

Die Prüfung der Gesichtsfeldgrenzen für bestimmte Farbenobjekte ermöglicht die Erfüllung der Forderung der Praxis, ein großes Gebiet der Netzhaut auf ihre Leistungsfähigkeit soweit zu prüfen, daß wesentliche Störungen derselben nach Ausdehnung und Art festgestellt werden können (für die Prüfung der äußersten Gesichtsfeldzone eignet sich besser die Prüfung des Lichtsinnes und der Punktsehschärfe, s. unter a und c). Dem praktischen Bedürfnis kann mit verschiedenen Farbenproben genügt werden, mit den Heggschen oder Edouardschen Proben von verschiedener Größe, den vielfach benutzten Heidelberger Papieren, den Wolffbergschen Objekten (Marxsche Tuche auf schwarzem Sammet). Von den letztgenannten reichen meist die 3 Objekte Blau, Rot und Grün von 15 mm Durchmesser aus, da sie eine breite intermediäre Gesichtsfeldzone umfassen (wegen der engen Grenze des etwas dunklen Grün) und weil wegen der einander sehr nahe liegenden Grenzen für Blau und Rot sich verschiedene Schädigungen des Rot-Grünsinnes und des Blau-gelbsinnes in der diesen Grenzen entsprechenden Zone durch verschiedene Beeinflussung der Rot- und der Blaugrenze kund geben (vgl. Gesichtsfeldstörungen). Für die dem Fixierpunkt benachbarten Zonen sind eventuell noch die kleinen Wolffbergschen Objekte von 3 mm Durchmesser anzuwenden. Wo es sich um

etwaigen Nachweis völligen Verlustes des Farbensinnes handelt, sind Lichtflammen mit farbigen Gläsern oder die großen Wolffberg-schen Objekte von 10 cm Seite geeignet.

Folgende Tabelle giebt den ungefähren Durchschnitt der normalen Grenzen von Blau, Rot und Grün für die Heggschen Farben von 1 cm², die Heidelberger Papiere von 2 cm², die Wolffberg-schen Farben von 15 mm Durchmesser in den 4 Hauptmeridianen:

	Meridian	oben	außen	unten	innen
Heggsche Farben	Blau	30	82	54	40
	Rot	20	50	24	20
	Grün	20	50	24	20
Heidelberger Papiere 2 cm □	Blau	40	81	58	49
	Rot	38	74	54	37
	Grün	32	65	42	37
Wolffbergs Proben	Blau	39	76	50	43
	Rot	35	70	46	37
	Grün	31	57	37	34

Fig. 57 und Fig. 58 zeigen die durchschnittlichen Außengrenzen und Farbengrenzen auf dem Gesichtsfeldschema.

c) Der **Raumsinn** nimmt vom Fixierpunkt nach der Peripherie sehr rasch ab; er läßt sich am besten mit der „Punktsehschärfe" (s. S. 77) prüfen, entweder mit schwarzen Punkten auf weißem Grund nach Grönouw, oder mit sehr kleinen weißen Objekten auf schwarzem Grund nach Bjerrum. Letzterer benutzt kleine an dünner schwarzer Metallstange befestigte Elfenbeinscheiben, gewöhnlich von 6 und 3 mm Durchmesser, auf 2 m Abstand (vor einer schwarzen Gardine), Grönouw schwarze Punkte von $^1/_4$, $^1/_2$, 1, 2, 4 mm Durchmesser in der Mitte eines weißen Papiers von 8 cm Höhe (= der Breite des Perimeterbogens) und 3 cm Breite, das am Försterschen Perimeter von der Peripherie gegen den Fixierpunkt vorgeschoben wird. Man kann auch einfach die Rückseite irgend eines Rezeptformulars benutzen, indem man den Punkt etwa 1,5 cm vom Fußrande des Blattes entfernt anbringt, (wo kein Aufdruck von der anderen Seite her durchscheinen kann) und das Blatt mit diesem Ende voraus zentralwärts bewegt.

Refraktionsfehler sind bei diesen Prüfungen soweit zu korrigieren, daß noch richtige optische Einstellung für den Fixierpunkt möglich ist; da Konkavgläser die Grenzen für eine bestimmte Punkt-

sehschärfe einengen, wird Myopie zweckmäßig nur soweit korrigiert, als sie 3 D übersteigt (bei Perimeterradius von 31 cm!).

Schwankungen der objektiven Beleuchtung sind innerhalb ziemlich weiter Grenzen ohne Einfluß, was die Annahme bestätigt, daß es sich bei dieser Methode thatsächlich in erster Linie um eine Prüfung des Raumsinnes handelt.

Vor der Prüfung der Farbengrenzen hat die Methode den Vorzug, daß die Angaben bei der Prüfung wesentlich bestimmter sind (vgl. Gesichtsfeldprüfung S. 184) und besonders für den Nachweis und die Abgrenzung von Skotomen sich sehr gut eignet.

Für neuroptische Sehstörungen (s. Farbensinn S. 168) scheint die Methode noch empfindlicher zu sein als die Prüfung der Farbengrenzen, die dagegen den Vorzug haben, die Störungen noch nach ihrer verschiedenen Beeinflussung des Blaugelbsinnes und des Grünrotsinnes zu differenzieren (vgl. Gesichtsfeldstörungen S. 186).

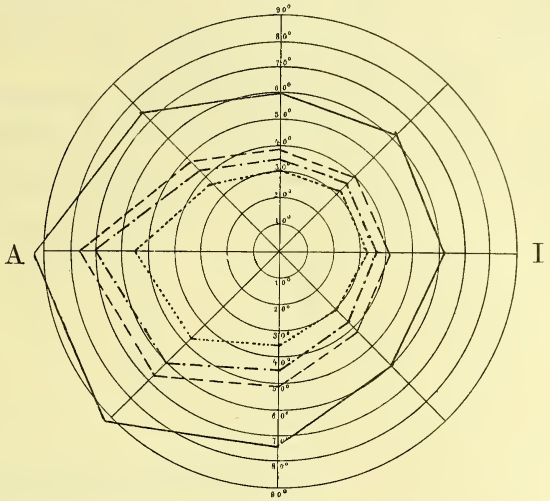


Fig. 57. Linkes Auge.

——————— Grenze für Weiß („Außengrenze“).
— — — — — „ „ Blau.
—·—·—·— „ „ Rot.
·············· „ „ Grün.

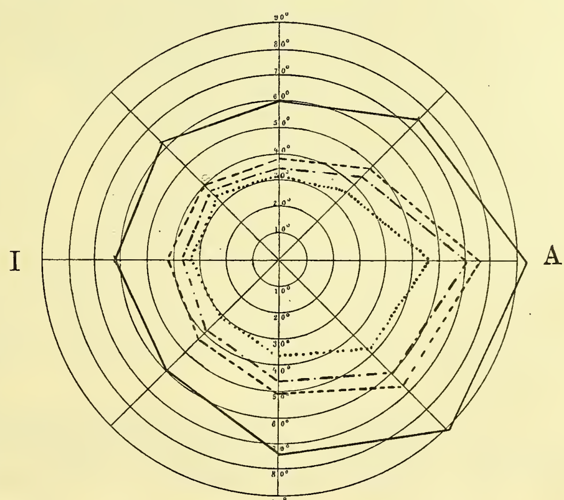


Fig. 58. Rechtes Auge.

Die Grenzen für die verschiedenen Punktsehschärfen (Isopteren nach Hirschberg) verlaufen in den peripherischen Zonen ziemlich genau der Außengrenze parallel und werden zentralwärts immer mehr konzentrisch zum Fixierpunkt.

Die durchschnittlichen Grenzen für die Punkte von 1/4 bis 4 mm Durchmesser sind in den vier Hauptmeridianen nach Grönouw:

	oben	außen	unten	innen
4 Mm	46	79	56	55
2 „	40	64	46	50
1 „	29	44	33	33
0,5 „	18	27	19	23
0,25 „	7	10	9	12

B. Gesichtsfeldprüfung.

Zur genauen Prüfung des Gesichtsfeldes bedarf man eines Perimeters. Am meisten ist das Förstersche im Gebrauch, ein auf starkem Stativ angebrachter Halbkreisbogen von Eisenblech; eine Kinn- und Wangenstütze dient zur richtigen Stellung des Auges im Krümmungsmittelpunkt des Bogens, der um eine sagittale (d. h. in der Gesichtslinie liegende) Achse drehbar ist. In mancher Hinsicht ist das Pflügersche Halbkugel-Perimeter mit neutralgrauem Grund besser geeignet, indem es für gewisse relative Grenzen (für Grenzgrau und für die Heggschen Farben) genauere Ergebnisse ermöglicht (s. Gesichtsfeld). Sehr bequem ist auch das kleine Handperimeter von Schweigger, das gegen die Nasenwurzel des Untersuchten gestützt wird. Sogenannte selbstregistrierende Perimeter eignen sich nur gut zur Prüfung auf Ermüdungserscheinungen; wo solche ausgeschlossen werden sollen — und das ist zur Feststellung der wirklichen Grenzen stets wichtig —, sind jene zu verwerfen.

Der Kranke sitzt mit dem Rücken gegen die Fensterseite des Zimmers, gerade vor dem Fenster, wenn nur ein solches vorhanden ist, oder zwischen zwei Fenstern, so daß der Perimeterbogen bei allen Stellungen gutes Licht erhält. Bei Prüfung des unteren Meridians muß man oft Patient und Perimeterbogen etwas nach der Seite drehen. Der Untersuchte stützt sich mit dem Kopf auf die Kinnstütze und fixiert unmittelbar über der Wangenstütze den

durch einen kleinen weißen Fleck markierten Mittelpunkt des Perimeterbogens. Das andere Auge wird verbunden (oder vom Untersuchten selbst zugehalten). Das Untersuchungszimmer soll gleichmäßig grau (mindestens annähernd grau) getönt sein, auffallend helle Gegenstände sollen sich nicht im Gesichtsfeldsbereich befinden. Im Untersuchungszimmer muß ferner Ruhe herrschen, damit die Aufmerksamkeit des Untersuchten und des Arztes nicht abgelenkt wird. Die Abhängigkeit der Untersuchung von zwei Aufmerksamkeiten ist ein sehr wichtiger psychischer Faktor, der die Zuverlässigkeit der Untersuchung sehr beeinträchtigen kann. Der Arzt muß stets genau beobachten, ob der Untersuchte während der Prüfung richtig fixiert und keine Augenbewegungen macht. Wer aufmerksam zu prüfen gewöhnt ist, bemerkt auch gewöhnlich leicht, ob die Angaben des Untersuchten präzis und zuverlässig sind oder nicht.

Im allgemeinen genügt die Prüfung der Aussengrenzen und etwa dreier relativer Grenzen, besonders der Grenzen für Blau, Rot und Grün, in acht (halben) Gesichtsfeldmeridianen. Hinsichtlich der Gesichtsfeldobjekte siehe S. 176 u. 179. Zuerst wird die Aussengrenze, d. h. die Grenze für ein weißes Objekt geprüft. Das an einem schwarzen (oder bei Gebrauch des Pflügerschen Perimeters an einem neutralgrauen) Stab befestigte Objekt wird von der Peripherie her im allgemeinen in gleichmäßigem Tempo unter mäßig schnellen, quer zum Perimeterbogen gerichteten Schwingungen zentralwärts geführt, bis der Untersuchte durch „jetzt“ die Wahrnehmung des Objektes bekundet. Bei den zuerst geprüften Meridianen wird die Prüfung stets ein paarmal wiederholt, bis man sich von der Zuverlässigkeit der Angaben überzeugt hat. Die gefundene maximale Grenze wird auf einem Gesichtsfeldschema (s. o. Fig. 56) markiert. Bei Prüfung der nasal gelegenen Meridiane muß der Untersuchte den Kopf soweit drehen, daß Nase und Augenbrauen das Gesichtsfeld nicht einengen; bei den oberen Meridianen muß man zuweilen die Augenbrauen mit dem Finger emporziehen. Ebenso werden eventuell für Grenzgrau am Pflügerschen Perimeter, oder für ein schwarzes Objekt am Försterschen Perimeter die Grenzen bestimmt. Hierbei läßt Prüfung mit mäßiger Verdunklung des Zimmers (und etwa 10 Minuten Adaptationszeit) auch geringe Adaptationsstörungen erkennen.

Bei der Prüfung mit Farbenobjekten hat der Untersuchte jedesmal anzugeben, was für eine Farbe er wahrnimmt, sobald er überhaupt einen deutlichen Farbeneindruck bekommt. Er darf

nicht vorher wissen, welche Farbe geprüft wird. Die Farbenobjekte werden zwekmäßig mit etwas langsameren Schwingungen hereingeführt als das weiße Objekt. Die noch vielfach geübte Methode, mit vorher bekanntem Farbenton zu prüfen und angeben zu lassen, wann die Farbe in ihrem richtigen Ton erkannt wird, giebt zwar bei organischen Erkrankungen auch gute Resultate und ist hierbei bequemer, sie ist aber in allen den Fällen absolut unzweckmäßig, wo funktionelle Störungen und Simulation in Frage kommen, und daher als allgemeine Methode nicht zulässig. Bei der Farbenperimetrie sind die Abgaben oft sehr schwankend, der Kranke muß meist erst lernen, den Blick still zu halten, wenn er das Objekt, zunächst noch ohne Erkennung der Farbe, bemerkt. Sobald sich Ermüdungserscheinungen bemerkbar machen (starke Schwankungen in den Angaben, Einengung der Grenzen während der Prüfung), muß man den Untersuchten mit geschlossenen Augen etwas ausruhen lassen; bei manchen Patienten ist dies nach jeder Meridianprüfung, gelegentlich selbst nach jeder einzelnen Objektführung, erforderlich. (Über die absichtliche Feststellung von Ermüdungserscheinungen s. S. 189f., über „Erholungsausdehnung" S. 178).

Bei Prüfung der Grenzen für bestimmte Punktsehschärfen (s. S. 180) führt man das Objekt ohne Querschwingungen gleichmäßig zentralwärts. Diese Methode eignet sich besonders auch zur genauen Bestimmung von Skotomen und der Größe des blinden Fleckes.

Die Prüfung der Größe des blinden Fleckes, die zugleich ein gutes Mittel ist, die Zuverlässigkeit des Patienten bei der Prüfung zu erproben und ihn eventuell auf genaues Fixieren einzuüben, wird mit höchstens 3 mm im Durchmesser betragenden Objekten bestimmt, indem man das Objekt zuerst in den blinden Fleck bringt und aus diesem langsam herausführt und den Beginn der Wahrnehmung (des Objektes überhaupt oder der betreffenden Farbe) angeben läßt. Im allgemeinen genügt hierzu die Messung in horizontaler und vertikaler Richtung. Die Grade lassen sich auch für den letzteren leicht abschätzen, eventuell kann man auch einen exzentrischen (mit Kreide markierten) Punkt des Perimeterbogens fixieren lassen, so daß der Mittelpunkt des Perimeters in den blinden Fleck fällt; dies ist besonders bei Prüfung der Punktsehschärfe zweckmäßig. Die vorherige Bestimmung des blinden Fleckes empfiehlt sich besonders in Fällen, wo auf Skotome zu prüfen ist.

Wenn ein Auge schlecht fixieren kann, wie bei angeborener Amblyopie oder bei zentralem Skotom, ist die binokulare Gesichts-

feldprüfung nach Schlösser sehr zweckmäßig. Man prüft mit einem blauen oder roten Objekt und setzt vor das nicht zu prüfende Auge ein komplementär zum Objekt gefärbtes, also ein gelbes oder ein grünes Glas, dann wird das farbige Objekt als Helligkeitsobjekt von dem zu untersuchenden Auge zuerst, und als Farbenobjekt überhaupt nur von diesem wahrgenommen. Auch das Verschwinden oder Blässerwerden des Objektes in Skotomen (s. Gesichtsfeldstörungen S. 194) wird leicht beobachtet. Ferner eignet sich die Methode zur raschen Orientierung darüber, ob eine Gesichtsfeldeinschränkung überhaupt vorliegt. Zuerst muß man sich aber überzeugen, ob die Blicklinie des untersuchten Auges (oder wenigstens die optische Achse, deren Lage ziemlich genau bestimmbar ist, auch wenn nicht zentral fixiert werden kann) richtig nach dem Mittelpunkt des Perimeters gerichtet ist, andernfalls muß man vom anderen Auge einen exzentrischen Punkt fixieren lassen, um die Achse des untersuchten Auges richtig zu stellen.

Die Außengrenzen können in grober Weise auch einfach mit der Hand geprüft werden, indem man sich dem Kranken gegenüber setzt und sein eigenes, dem zu prüfenden Auge gegenüberliegendes Auge fixieren läßt. Es läßt sich für den äußeren und den äußeren unteren Meridian leicht beurteilen, ob die Hand schon wahrgenommen wird, wenn sie noch etwa 90 von der Blicklinie des untersuchten Auges abweicht, oder ob sie wesentlich weiter herein geführt werden muß, was eine Einengung in diesen Meridianen bedeuten würde; in den übrigen Meridianen kann man die Hand in einer den Abstand zwischen Arzt und Patient halbierenden Ebene hereinführen, wobei das eigene Gesichtsfeld zum Vergleich dient.

Diese einfache Methode eignet sich besonders zur Prüfung auf Hemianopsie, wobei es zweckmäßig ist, die Hand nicht (oder wenigstens nicht nur) entsprechend den verschiedenen Meridianen, sondern in horizontaler Richtung in verschiedenen Höhen bis zur vertikalen Trennungslinie zu führen. Hemianopische Störungen sind so selbst bei bettlägerigen Kranken leicht nachzuweisen, was besonders nach apoplektischen Insulten von Wert ist (s. Gesichtsfeldstörungen S. 202).

Ferner eignet sich die Prüfung mit Hand bei starken Medientrübungen. Wird die Hand nicht mehr wahrgenommen, so prüft man mit Licht oder Augenspiegelreflex (s. S. 161) die Außengrenze und läßt zugleich zur Prüfung des Raumsinnes die Richtung, aus der das Licht kommt, angeben („Projektionsprüfung“).

Bei kleinen Kindern (Meningitis!) oder bei benommenen oder

sensorisch aphasischen Kranken kann eventuell mittels Prüfung der Auslösung des Blinzelreflexes und assoziierter Augen- und Kopfbewegungen durch plötzliche Lichteindrücke eine Hemianopsie oder ein sonstiger grober Gesichtsfelddefekt aufgefunden werden.

C) Gesichtsfeldstörungen.

Über die physiologische Schwankungsbreite hinausgehende Abweichungen der absoluten oder relativen Funktionsgrenzen im Gesichtsfelde weisen auf Funktionsstörungen bestimmter Abschnitte der Netzhaut oder zu solchen Abschnitten gehöriger Leitungsfasern der Sehbahnen oder entsprechender Abschnitte der Sehcentren hin. Die Formen der einzelnen Grenzabweichungen und deren Verhältnis zu einander, sowie zeitliche Änderungen dieses Verhältnisses, ermöglichen weiterhin wichtige Schlüsse auf Ort, Umfang, Intensität und nicht selten auch auf Art und Ursache der zu Grunde liegenden Störung, sei es mit oder ohne Mithilfe anderweiter Symptome. Über den Einfluß verschiedener Erkrankungen auf die Gesichtsfeldstörungen der einzelnen Qualitäten des Gesichtssinnes in ihrem Verhältnis zu einander liegen immer noch zu wenig vergleichende Untersuchungen vor; im allgemeinen können wir aber wenigstens sagen; daß bei stärkerer Beeinträchtigung der Grenzen für Rot und Grün gegenüber denen für Blau und Gelb unter den bei den einzelnen Gesichtsfeldformen erwähnten Erkrankungen (s. u.) nur die Erkrankungen des Leitungsapparates bis zur Ganglienzellenschicht der Netzhaut einschließlich in Betracht kommen, (neuroptische Störungen nach Wolffberg, s. unter Farbensinnstörungen S. 168), bei dem umgekehrten Verhältnis aber mehr an eine Leistungsstörung der äußeren Netzhautschichten zu denken ist, die durch primäre Erkrankung dieser Schichten selbst oder aber durch Erkrankung der Aderhaut und davon abhängige Ernährungsstörungen jener Schichten bedingt sein kann; diese Störungen faßt Wolffberg als photochemische Störungen zusammen. Gleichmäßige Beeinträchtigung aller Farbengrenzen kann durch Kombination photochemischer und neuroptischer Störungen bedingt sein, aber auch durch letztere allein, die überhaupt erhebliche Unterschiede zeigen können sowie durch Störungen in den Wahrnehmungszentren.

Wir gliedern die Gesichtsfeldstörungen nach gewissen Formtypen und teilen diese zunächst in zwei große Gruppen: Gesichtsfeldstörungen des Einzelauges, und Störungen, die dem anatomischen Verhältnis beider Augen zu einander entsprechen.

Wir geben hier gleich eine Übersicht über die für die einzelnen Formen von Störungen in Betracht kommenden Ursachen im Zusammenhange wegen der vielfachen Beziehungen zwischen Ursache und Sitz der Störungen. Die Anhaltspunkte für die speziellere Beurteilung der Ursachen werden im dritten Teil besprochen. Die bei den einzelnen Formen als Ursachen angeführten Erkrankungen ordnen wir dann so, daß zuerst die photochemischen, zuletzt die neuroptischen Störungen, und zwischen beiden etwaige Mischformen zu stehen kommen.

I. Die Gesichtsfeldstörungen des Einzelauges.

a) **Randständige Defekte,** d. h. Einengungen der Grenzen von der Peripherie her. Die Einengung kann sich auf alle Qualitäten der Netzhautleistungen erstrecken, so daß auch die absolute Grenze eingeengt ist, oder auch auf die Einengung relativer Grenzen beschränken. Im zweiten Fall kann man streng genommen nur dann von einem randständigen Defekt sprechen, wenn die Herabsetzung der Funktion bis zur absoluten Gesichtsfeldgrenze reicht, wenn also die Einschränkung eine relative Grenze betrifft, die normalerweise noch mit der absoluten zusammenfällt (Grenzgrau, sehr helles, großes Farbenobjekt). Aber auch bei Einschränkung einer der absoluten Grenze normalerweise naheliegenden relativen Grenze, wie sie gewöhnlich durch die Blaugrenze repräsentiert wird, ist im allgemeinen die Randständigkeit des Defektes wahrscheinlich. Wir können drei Hauptformen unterscheiden:

1. Regelmäßig konzentrische Einengungen, das sind solche, bei denen die Grenzen (seien es nur einzelne oder alle) in allen Meridianen in annähernd gleichem Verhältnis dem Fixierpunkt genähert sind. Meist ist die konzentrische Einengung eine allgemeine, d. h. die Außengrenze und alle relativen Grenzen betreffende. Ursachen: Retinitis pigmentosa (typische), idiopathische Hemeralopie, Netzhautdegeneration durch Eisensplitterverletzungen, hochgradige Myopie, funktionelle Störungen (Hysterie und traumatische Neurose, Erschöpfungszustände des Gehirns durch lokale und allgemeine Erkrankungen, Neurasthenie auf anämischer Grundlage; vorübergehende Einengungen nach stärkerer diffuser Blendung — Schneeblindheit) —; Chininvergiftung, diabetische Retinitis (Ole Bull); Neuritis verschiedenen Ursprungs (einschließlich Stauungspapille), Embolie der Zentralarterie der Netzhaut bei Freibleiben der Makulararterien (wenn diese schon hinter der verstopften

Stelle von der Zentralarterie abgehen oder cilioretinale Gefäße sind), beginnender progressiver Sehnervenschwund (selten), Blutungen in die Sehnervenscheide (spontan oder traumatisch).

Die konzentrische Einengung bei organisch bedingten photochemischen Störungen unterscheidet sich von der *funktionellen*, die gewöhnlich das gleiche Bild bietet, dadurch, daß jene schon durch *mäßige* Herabsetzung der Beleuchtung *erheblich gesteigert* wird, die funktionelle dagegen wenig oder gar nicht. Bei Hysterie finden sich auch Einengungen für nur eine oder einige Farben, wie es Fig. 59 zeigt. Fig. 60 stellt eine erhebliche allgemeine konzentrische Einengung bei Hysterie dar, die ganze Rotgrenze ist in diesem Fall, wie nicht selten bei Hysterie, weiter als die Blaugrenze.

Eine mäßige konzentrische Einengung kann gelegentlich durch Akkommodationsanspannung bedingt sein und bei Ausschaltung der Akkommodation verschwinden, was Grönouw als *paradoxe Gesichtsfeldeinengung* bezeichnet und auf Cirkulationsstörung während der Akkommodation zurückführt; für mindestens einen Teil der Fälle dürfte auch eine psychogene Wirkung in Betracht kommen.

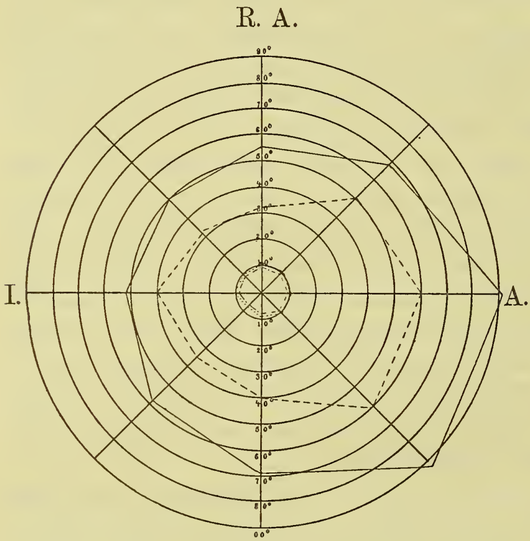


Fig. 59. Partielle konzentrische Gesichtsfeldeinengung bei Hysterie
Die Grenzen sind für Rot, Grün und Gelb (das mit Grün nahe zusammenfiel, in der Figur nicht gezeichnet) stark eingeengt, Rot ist am engsten, was bei Hysterie selten ist.
—————— Blau, —·—·—·— Rot, ··················· Grün.

2. *Unregelmäßig konzentrische* Einengung, wobei mindestens einzelne der Grenzen da und dort mäßige Einbiegungen oder ausgesprochene Abflachungen zeigen, kommen ebenfalls bei den in der vorigen Gruppe genannten Störungen vor, außerdem bei peripherischer Chorio-Retinitis syphilitica (besonders auf Grund heredi-

tärer Lues), Neuroretinitis albuminurica, Sehnerverkrankung bei multipler Sklerose.

Bei den hysterischen Störungen ist die Unregelmäßigkeit der Grenzen, unter möglichstem Ausschluß von Ermüdungserscheinungen, gewöhnlich sehr gering und auf die einzelnen Farbengrenzen beschränkt, so daß nicht selten Überkreuzungen einzelner Farbengrenzen (besonders zwischen blau und rot) stattfinden. Infolge von Ermüdung kann man, besonders bei neurasthenischen Personen, auch unregelmäßig konzentrische oder auch spiralförmige Einengungen der Außengrenzen bekommen. Bei aufmerksamer Prüfung ist die Neigung zur Ermüdung nicht schwer festzustellen. Man kann aber auch, wie dies vielfach geschieht, die Wirkung der Ermüdung selbst zum Gegenstand der Untersuchung machen, indem bei nervösen oder leicht erschöpfbaren Personen die Ermüdungswirkung sich oft sehr merklich und typisch ausspricht. Einen solchen „Ermüdungstypus“ stellt die sog. spiralförmige Gesichtsfeldeinengung (von Reuss) dar, die man erhält, wenn man von einem Meridian beginnend mit möglichst gleichmäßigem Tempo hinter einander die verschiedenen Meridiane von 20° zu 20° prüft, (hier ist das selbstregistrierende Perimeter zweckmäßig, aber nicht nötig) ohne den Patienten ausruhen zu lassen und dabei sämtliche Meridiane ein paar Mal zyklisch durchläuft, bis keine weitere Einengung mehr erfolgt und die Spirale nach innen mit einem Kreis abschließt. Ein anderer Ermüdungstypus wurde schon früher von Förster aufgestellt. Führt man das Gesichtsfeldobjekt aus dem Gesichtsfeld zentrifugal heraus, so wird

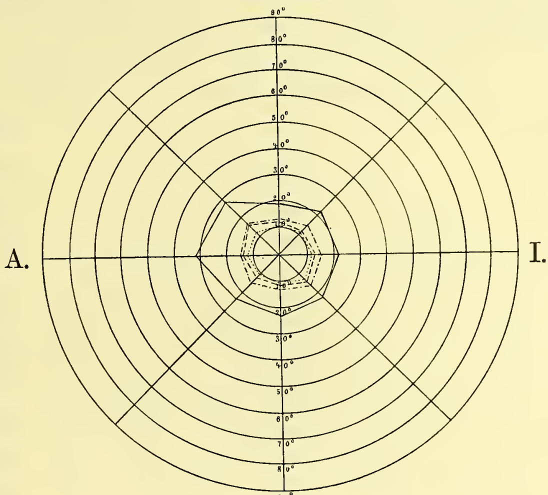


Fig. 60.
Allgemeine konzentrische Einengung bei Hysterie. Grenze für blau in diesem Fall enger als für rot.
— — — — — — Blau, —·—·—·— Rot, ··················· Grün.

das Verschwinden des Objektes normalerweise weiter nach außen (peripherisch) bemerkt, als das Auftauchen bei zentripetaler Führung; bei leicht ermüdbaren Personen verschwindet umgekehrt das zentrifugal geführte Objekt an einer zentraler gelegenen Stelle, so daß die Außengrenze für das Verschwinden des Objektes enger ist, als die bei zentripetaler Führung gefundene Grenze. Prüft man zuerst so, daß das Objekt in den temporalen Meridianhälften herein und in den nasalen Hälften hinausgeführt wird, so erscheint die nasale Gesichtsfeldhälfte eingeengt; eine zweite Prüfung in umgekehrter Richtung ergiebt eine Einengung der temporalen Hälfte, die beiden Aufnahmen zeigen zwei gegen einander verschobene Gesichtsfelder, wofür O. König die Bezeichnung „Försterscher Verschiebungstypus" vorschlug.

Wilbrand hat diesen Ermüdungstypus für die Untersuchung noch mehr vereinfacht, indem er sie auf den horizontalen Meridian beschränkt, das Objekt von der temporalen Seite hereinführt, die Stelle des Wahrnehmens vermerkt, das Objekt nach der nasalen Seite durchführt und hier die Stelle des Verschwindens vermerkt; das Objekt wird dann von der nasalen Seite wieder zurückgeführt, und nun wird das Verschwinden auf der temporalen Seite und so weiter das jedesmalige Verschwinden notiert, so lange, als dabei noch eine Einengung der Verschwindungsgrenzen gefunden wird. Die Aufzeichnung geschieht wie in Fig. 61: 0 bedeutet die Stelle der Außengrenze für das von der Peripherie im temporalen Meridian hereingeführte Objekt, die weiteren Ziffern die successiven Stellen des Verschwindens.

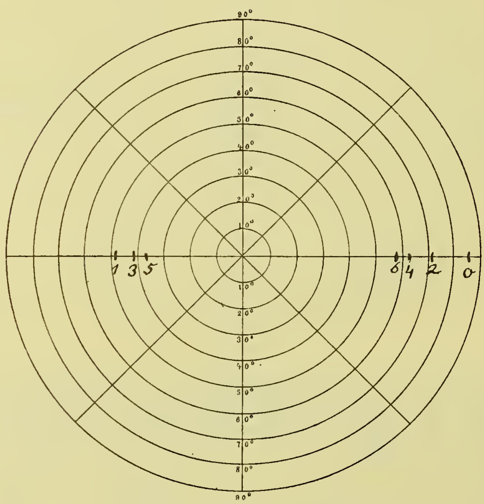


Fig. 61. Wilbrandscher Ermüdungstypus. Rechtes Auge.

3. Sektorförmige Defekte, d. h. tiefere Einschnitte der Grenzen von einer oder mehreren Seiten her, finden sich bei peri-

pherischer Chorioiditis (wie sie bei Lues gelegentlich vorkommt), Kolobom der Aderhaut, Netzhautablösung, Aderhautgeschwülsten, subretinalen Cysticerken; Cysticerken im Glaskörper, Glaskörperblutungen; Aderhaut- und Netzhautverletzungen (direkten und indirekten); Glaukom (sowohl primärem wie sekundärem), Netzhautblutungen an der Peripherie, Ast-Embolien der Netzhautarterien, Endarteriitis syphilitica einzelner Netzhautarterien, Retinitis proliferans, Thrombose einzelner Netzhautvenen; Neuritis optici, progressiver und neuritischer Opticus-Atrophie, Verletzungen des Sehnerven (direkten und indirekten durch Basisfraktur), Blutungen im Sehnervenstamme, Sehnervengeschwülsten.

Bei gewissen Erkrankungen ist der sektorförmige Defekt gewöhnlich mit seiner Spitze oder einem schmalen Ausläufer nach dem blinden Fleck hin gerichtet, so besonders beim Glaukom, bei Defekten durch Gefäßerkrankungen und bei Neuritis intraocularis; dieses Verhalten zeigt sich oft nur bei Prüfung der Punktsehschärfe nach Bjerrum oder nach Grönouw. Fig. 62 giebt ein Beispiel sektorförmiger Einschränkung bei Glaukoma simplex (in ziemlich frühem Stadium); beim Glaukom beginnen die Defekte mit Vorliebe in der nasalen Hälfte.

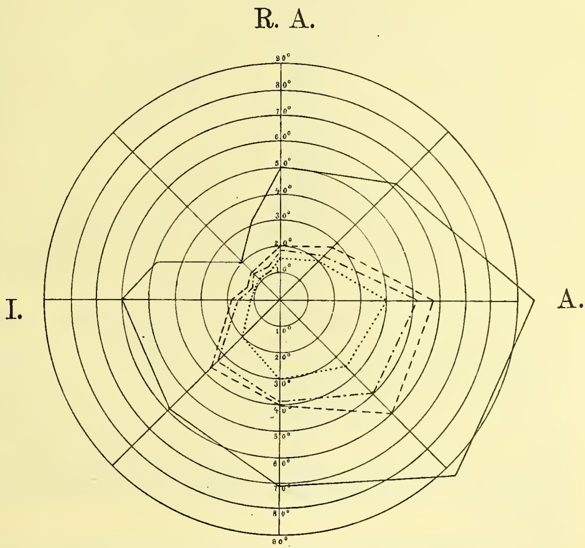


Fig. 62. Gesichtsfeld bei Glaukom.

Fig. 63 zeigt ein Gesichtsfeld bei tabischer Opticus-Atrophie.

Größere Einschränkungen werden in manchen Fällen von den Kranken direkt als dunkle Wolken oder als Schatten wahrgenommen, so bei Glaskörperblutungen, Geschwülsten, Cysticerken und Netzhautablösung (besonders oberen) die auf funktionsfähige Netzhautpartien Schatten werfen; außerdem aber auch zuweilen bei Retinitis und Neuritis.

Bei den zu weiterem Fortschreiten neigenden Erkrankungsformen können die sektorförmigen Einschränkungen sich nach Tiefe und Umfang ausbreiten und so immer größere Teile des Gesichtsfeldes einnehmen. Es kann so annähernd eine Hälfte des Gesichtsfeldes ausfallen; wenn dies auf die beiden Augen in annähernder symmetrischer Weise der Fall ist, wie es bei tabischer Atrophie vorkommt, so kann der Eindruck einer bitemporalen Hemianopsie (s. unter II) entstehen, wie sie durch Chiasmaerkrankungen bedingt wird, doch zeigen sich in der Regel bald Abweichungen von diesem Typus.

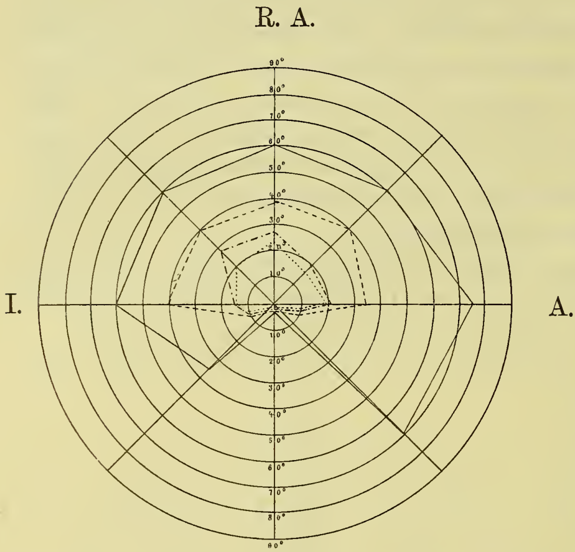


Fig. 63. Gesichtsfeld bei tabischer Optikusatrophie.
— — — — — Blau, —·—·— Rot, ·················· Grün.

Durch noch weitere Ausbreitung der sektorförmigen Einschränkungen kann der noch übrige Teil des Gesichtsfeldes sich auf eine sektorförmige Partie oder auf einen minimalen parazentralen oder noch mehr exzentrisch gelegenen Rest zusammenziehen (s. unter 4). Das Gesichtsfeld kann auch gelegentlich in zwei voneinander getrennte unregelmäßige Reste auseinanderfallen, so bei Stauungspapille.

4. Minimale Gesichtsfeldreste. Die verschiedenen Formen der Einengung können bei weiterem Fortschreiten das Gesichtsfeld allmählich bis auf einen kleinen Rest, ein sogenanntes minimales Gesichtsfeld, einengen, der schließlich ganz verschwinden kann, so daß völlige Erblindung eintritt. Die minimalen Reste liegen entweder mehr oder weniger genau konzentrisch zum Fixierpunkt oder aber exzentrisch.

Zentrale Reste kommen vor allem bei Hysterie, bei Chorio-Retinitis pigmentosa, gelegentlich auch bei syphilitischer Chorio-Retinitis vor. Bei der letztgenannten Erkrankung ist aber der Rest

gewöhnlich ziemlich unregelmäßig begrenzt und liegt oft mehr parazentral, zuweilen ist auch ein nahe der Peripherie liegender halbmondförmiger Rest mit jenem kombiniert oder auch für sich allein übrig geblieben, s. das in Fig. 64 gegebene Beispiel. Von Farben bleibt die Rotempfindung bei diesen drei Formen am längsten erhalten, doch können bei Hysterie verschiedene, keiner physiologischen Regel entsprechende Abweichungen hinsichtlich des Verhaltens der Farbengrenzen vorkommen; ferner kann bei Hysterie das minimale Gesichtsfeld für verschiedene Entfernungen dieselbe lineare Ausdehnung am Perimeter zeigen (sogen. röhrenförmiges Gesichtsfeld nach GREEFF), indem der Hysterische gewissermaßen unter der Autosuggestion steht, nur in einem Bezirke von bestimmter absoluter Größe zu sehen. Wichtig ist hierbei natürlich der Ausschluß von Simulation, aber ein röhrenförmiges Gesichstfeld dürfte nur entweder von einem ganz dummen oder von einem sehr geriebenen (etwa mit GREEFFs Untersuchungen bekannten[!]) Simulanten vorzutäuschen versucht werden. Nur eine erhebliche konzentrische Einengung kann überhaupt einigermaßen simuliert werden, durch verschiedene Verlegung des Fixierpunktes auf dem Perimeterbogen ist jede Simulation zu vereiteln.

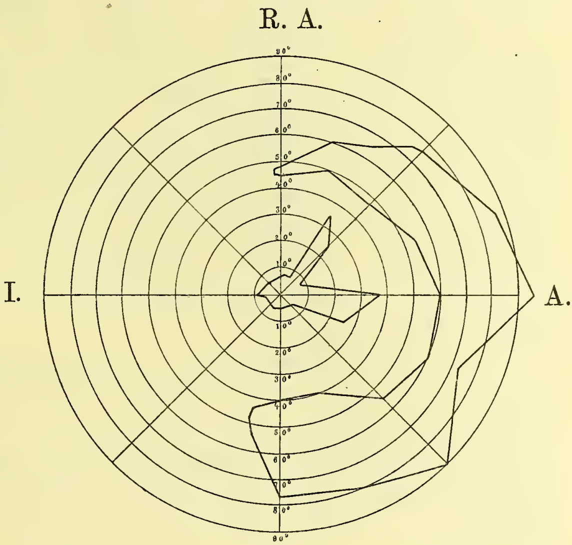


Fig. 64. Gesichtsfeld bei vorgeschrittener syphilitischer Chorioretinitis.

Bei den sonstigen progressiven Erkrankungen ist der Gesichtsfeldrest in der Regel exzentrisch, auch wenn anfangs die Einengung mehr oder weniger regelmäßig konzentrisch war. Bei den Sehnervenatrophien liegen solche Reste gewöhnlich dicht am Fixierpunkt, bei Glaukom entweder auch an diesem oder auch temporal vom blinden Fleck. Beim Glaukom erhält sich die Farbenwahrnehmung im

allgemeinen länger als bei den Opticus-Atrophien, bei denen besonders die Grün- und Rotempfindung meist frühzeitig leidet und in der Einengung ihrer Grenzen dem später zu erwartenden absoluten Defekte sozusagen den Weg zeigt.

Minimale Gesichtsfeldreste von nur etwa 2 bis 3° im Durchmesser können ferner auch bei doppelter Hemianopsie zurückbleiben (s. S. 201).

Die angeführten Formen randständiger Einengung können sämtlich, abgesehen von der bei hochgradiger Myopie, ohne Komplikation mit nicht randständigen Defekten auftreten (mindestens für einige Zeit), viele können sich aber auch mit solchen kombinieren.

b) **Nicht randständige Defekte**, das sind solche, die von der Außengrenze durch eine Zone mit normaler oder wenigstens besserer Funktion getrennt sind; wir bezeichnen solche Defekte auch als **Skotome** oder Dunkelflecke und nennen sie wie die randständigen Defekte absolut, wenn jede Lichtempfindung in ihrem Bereich fehlt, relativ, wenn die Empfindung nur mehr oder weniger beschädigt ist. Werden die Skotome vom Kranken selbst als Fleck im Gesichtsfeld unmittelbar wahrgenommen, so bezeichnen wir sie als positiv, ist das nicht der Fall, als negativ. Wir kommen unten darauf zurück.

Ihrer Form nach können die Skotome inselförmig oder zonenförmig (ringförmig) sein. Sehr oft sind die Skotome mit randständigen Defekten kombiniert.

1. inselförmige Skotome. Gewisse Skotome sind durch eine besondere Lage charakterisiert, nach der wir sie benennen: Zentrale Skotome, d. h. solche, die den Fixierpunkt umfassen, parazentrale, d. h. direkt an den Fixierpunkt grenzende Skotome, und Skotome, die sich an den blinden Fleck anschließen, indem sie eine Vergrößerung desselben bewirken; die übrigen können wir als atypische Skotome bezeichnen. Dem entsprechend teilen wir die Skotome in vier Gruppen.

α) Zentrale Skotome. Der Fixierpunkt kann im Zentrum des Skotoms liegen oder mehr oder weniger exzentrisch. Ursachen: Makulare Aderhautkolobome, Chorioiditis centralis bei Myopie, senile Entartung der Makula, zentrale Netzhautablösung, zentrale Chorioretinitis syphilitica, recidivierende Retinitis syphilitica; traumatische Makulaerkrankung (einschließlich Retinitis atrophicans nach Kuhnt oder Lochbildung der Makula nach Haab), Blendungsretinitis (durch Sonne, elektrischen Lichtbogen), albuminurische und diabetische

Retinitis, Retinitis circinata, Embolie makularer Arterien; Neuritis intraocularis, retrobulbäre Intoxikationsneuritis (besonders durch Alkohol und Tabak), diabetische Neuritis, Blutungen im Sehnervenstamme, partielle Atrophie bei multipler Sklerose; selten beginnt progressive Optikusatrophie mit zentralem Skotom, noch seltener Glaukom. Auch funktionelle Skotome können wohl vorübergehend vorkommen, sie entsprechen ihrem Charakter nach den photochemischen Störungen. Ein zuerst für Rot und Grün auftretendes, vom Fixierpunkt aus vorwiegend nach dem blinden Fleck hin oval sich ausbreitendes und später nach oben und unten vordringendes Skotom ist für Intoxikationsamblyopie von der Art der Tabak- und Alkoholvergiftung charakteristisch (das Skotom bleibt aber nur progressiv, wenn die Schädlichkeit nicht gemieden wird). Fig. 65 giebt ein Beispiel von Tabaksamblyopie.

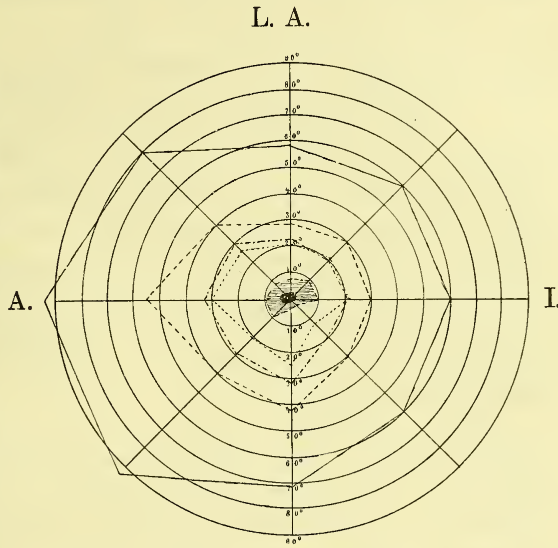


Fig. 65. Gesichtsfeld bei Tabaksamblyopie. Relatives Skotom für Rot sowie die andern Farben mit ungefähr denselben Skotomgrenzen (in der Figur weggelassen). Ein kleiner Teil des Skotoms ist für alle Farben absolut.

β) Parazentrale Skotome stellen nicht selten das Anfangsstadium eines zentralen Skotoms dar, es kommen daher fast alle unter *α*) genannten Erkrankungen in Betracht. Skotome, die längere Zeit parazentral bleiben, kommen besonders bei Myopie, albuminurischer und diabetischer Retinitis vor. Zuweilen sind die Skotome nur für weiße Objekte parazentral und umfassen für Farben und kleine Punkte den Fixierpunkt. Ferner können an den blinden Fleck anschließende Skotome parazentral werden, wenn sie sich bis zum Fixierpunkt erstrecken (s. bei *γ*).

Bitemporale Skotome weisen auf eine Chiasmaerkrankung (s. unter II), besonders wenn sie von einer vertikalen durch den

Fixierpunkt gehenden Linie begrenzt sind. Homonyme halbseitige Skotome stellen eine inkomplete Hemianopsie dar (s. unter II).

Das meist hemianopisch auftretende Flimmerskotom beginnt gewöhnlich auch parazentral.

γ) Vergrößerungen des blinden Flecks. Diese können gleichmäßig sein, also einfach einen größeren kreisförmigen oder ovalen Fleck bilden, so oft bei Myopie, bei Neuroretinitis (Ödem der Netzhautzone an der Papille), Glaukom (Halo), Kolobom der Sehnervenscheiden, oder sie bilden flügelförmige Fortsätze des blinden Flecks, besonders nach oben oder unten, was gleichfalls bei Myopie vorkommt, ferner bei albuminurischer und diabetischer Retinitis, syphilitischer Chorioretinitis, markhaltigen Sehnervenfasern; atypischen Aderhautkolobomen, gelegentlich auch bei Glaukoma simplex. Bei weiterem Fortschreiten biegen die flügelförmigen Fortsätze gewöhnlich nach der temporalen Seite um, wenden sich nach dem Fixierpunkt zu oder um diesen herum; durch Vereinigung zweier oben und unten den Fixierpunkt umgreifenden Skotome kommt es zu zonenförmigen Defekten (s. unten).

δ) Skotome mit beliebigem Sitz, ohne Vorliebe für eine bestimmte Stelle. Hier kommt in erster Linie die Chorioiditis disseminata in Betracht, sowohl typische wie atypische (gewöhnlich syphilitische), ferner können atypische Aderhautkolobome, Netzhautblutungen, albuminurische und diabetische Retinitis, Fremdkörperverletzungen der Netzhaut Skotome an den verschiedensten Stellen bewirken. Das Auftreten zahlreicher Skotome, die sich den Kranken selbst durch Verschwinden kleiner Gegenstände im Gesichtsfeld (Worte beim Lesen, Münzen beim Geldzählen u. s. w.) bemerklich machen, wurde früher als Visus reticulatus bezeichnet.

Flüchtiges Verschwinden des Prüfungsobjekts während der Gesichtsfeldprüfung (bei gleichmäßig langsamer Führung des Objekts) an wechselnden Stellen im Gesichtsfeld kommt als Ermüdungserscheinung bei Hysterie vor (oszillierendes Gesichtsfeld nach Wilbrand).

Manche Skotome, besonders zentrale, sind mit Mikropsie und dann oft zugleich mit Metamorphopsie verbunden; dies weist stets auf eine chorioretinitische Affektion hin (Auseinanderdrängung der Netzhautendelemente durch Exsudate, wodurch ein Netzhautbild auf eine kleinere Zahl von Elementen fällt, die auch in ihrer normalen Anordnung gestört sind).

2. Zonenförmige oder ringförmige Defekte entwickeln sich meist aus dem Zusammenfließen der oben erwähnten flügel-

förmigen Skotome, so besonders bei syphilitischer Chorioretinitis; ferner kommen sie gelegentlich bei typischer Retinitis pigmentosa und bei hochgradiger Myopie vor. Bei den meisten Gesichtsfeldstörungen des Einzelauges giebt schon der Augenspiegel Aufschluß über die Ursache, aber auch in diesen Fällen giebt die Gesichtsfeldprüfung die besten Anhaltspunkte für Beurteilung des Verlaufs und der Prognose.

II. Hemianopische Gesichtsfeldstörungen, das sind doppelseitige Gesichtsfeldstörungen, die dem anatomischen Verhältnis beider Sehnervenapparate zu einander entsprechen.

Wegen der teilweisen Kreuzung der Sehnerven im Chiasma haben Schädigungen des Sehnervenapparates vom Chiasma an zentralwärts stets Störungen der Gesichtsfelder beider Augen zur Folge, und zwar in je einer seitlichen Hälfte, indem sie entweder bitemporale (das heißt in beiden temporalen Gesichtsfeldhälften gelegene) oder homonyme (das heißt gleichnamige oder korrespondierende) Gesichtsfeldabschnitte von ganz oder annähernd gleicher Form und Ausdehnung betreffen. Bei bitemporaler Hemianopsie ist die Funktion beider nasalen Netzhauthälften gestört, bei homonymer die Funktion korrespondierender Netzhauthälften. Wir sprechen von rechtsseitiger (resp. linksseitiger) Hemianopsie bei gleichartigen Defekten der rechten (resp. linken) Gesichtsfeldhälften beider Augen. Manche gebrauchen auch die Ausdrücke laterale, oder bilaterale, rechtsseitige (linksseitige) Hemianopsie (s. u.).

Wir bezeichnen eine Hemianopsie als komplet, wenn je eine ganze Hälfte beider Gesichtsfelder betroffen ist, andernfalls als inkomplet. Nicht selten ist ein ganz kleiner Bezirk am Fixierpunkt noch erhalten, eine sogenannte „überschüssige Gesichtsfeldpartie“, was auf eine Doppelversorgung der Makulagegend mit Nervenfasern von beiden Sehzentren zurückgeführt wird; auch diese Fälle rechnet man im allgemeinen zu den kompleten.

Ferner können die Defekte absolut oder nur relativ sein, wie die sonstigen Gesichtsfelddefekte.

Annähernd gleiche Defekte beider nasalen Gesichtsfeldhälften — „binasale“ Hemianopsie — können zwar ausnahmsweise auch durch eine die beiden lateralen Chiasmawinkel gleichzeitig schädigende Affektion zu stande kommen, häufiger aber sind ähnliche binasale Defekte durch intraokulare Störungen bedingt, namentlich durch Glaukom. Der Ausdruck binasale Hemianopsie wird daher besser vermieden.

Als doppelte Hemianopsie (Hemianopsia bilateralis duplex, oft auch doppelseitige Hemianopsie genannt, was aber Mißverständnisse weniger sicher ausschließt) bezeichnen wir den Zustand, wo sich die halbseitige Schädigung des Gesichtsfeldes beider Augen noch mit einer Schädigung der andern Gesichtsfeldhälften beider Augen kombiniert; sie kann gleichfalls komplet und absolut sein, d. h. doppelseitige völlige Blindheit bewirken.

1. **Bitemporale Defekte** weisen auf eine Chiasmaaffektion, wenn mindestens für ein Auge ein absoluter oder relativer Defekt scharf an der vertikalen Trennungslinie abschneidet; noch sicherer ist die Lokaldiagnose, wenn dies für beide Augen zutrifft, was aber oft nur vorübergehend der Fall ist, da durch Übergreifen der Erkrankung auf das ungekreuzte Bündel des einen Auges meist bald auch dessen nasale Gesichtsfeldhälfte geschädigt wird. Besonders gilt dies für die Makulagegend; man findet bei bitemporalen Defekten oft schon früh eine Herabsetzung der zentralen Sehschärfe.

Die temporalen Defekte können sich auch auf die oberen oder unteren Quadranten beschränken und hier auch für beide Augen nach der nasalen Seite fortschreiten, so daß annähernd die obere oder untere Hälfte des Gesichtsfeldes jedes Auges ausfällt. Dieses Verhalten wurde früher gewöhnlich als Hemianopsia superior oder inferior bezeichnet, aber es ist richtiger, hier von einer doppelten inkompleten Hemianopsie zu sprechen (s. u.). Auch hierbei ist nur dann eine Chiasmaaffektion wahrscheinlich, wenn mindestens der eine Defekt eine Zeit lang genau mit der vertikalen Trennungslinie abschnitt.

Der hemianopische Charakter bitemporaler Defekte ist zuweilen nur für relative Defekte (besonders Farben) deutlich ausgesprochen, während die absolute Grenze gleichzeitig nur mäßige sektorenförmige Einengungen in der temporalen Hälfte zeigen kann.

Bitemporale Skotome mit scharfer vertikaler Grenze weisen ebenfalls bestimmt auf Chiasmaerkrankung, sie pflegen sich bald auch mit temporalen randständigen Defekten zu kombinieren; besonders für Farben erstreckt sich der Defekt oft bald auf die ganze temporale Gesichtsfeldhälfte.

2. **Homonyme Defekte.** Die Form und Ausdehnung der Defekte für sich allein läßt keinen bestimmten Schluß zu, an welcher Stelle vom Traktus bis zu den Rindenzentren die Störung sitzt; immerhin dürften inkomplete Defekte, namentlich solche, die in der Form genau übereinstimmen, eher bei Affektionen der Rinden-

und der Sehstrahlung im Hinterhauptlappen vorkommen, als bei Affektionen des äußeren Kniehöckers und des Traktus. Fig. 66 *a* und *b* stellt eine solche inkomplete Hemianopsie dar.

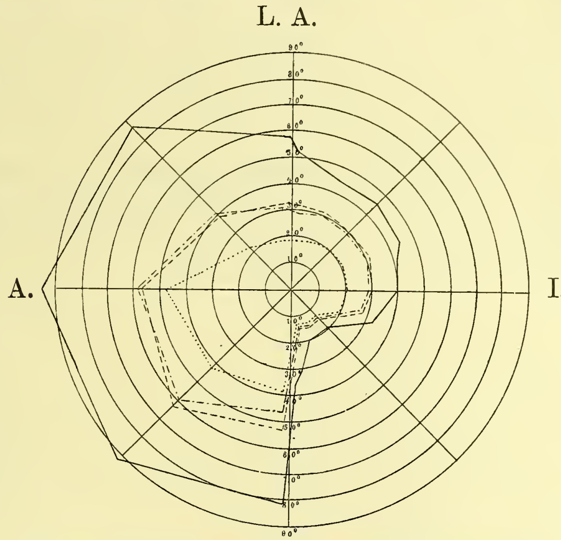


Fig. 66a. Inkomplete rechtsseitige Hemianopie.

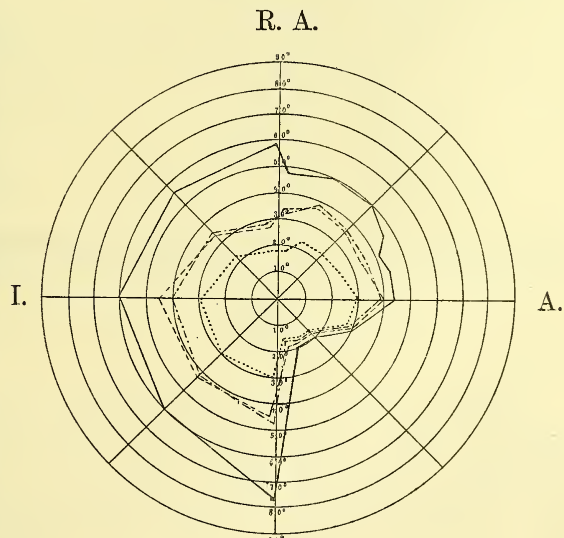


Fig. 66b. Inkomplete rechtsseitige Hemianopie.

Nicht selten ist der Defekt auf dem einen Auge etwas ausgedehnter als auf dem andern, er kann ferner für das eine Auge ganz oder größtenteils absolut sein, für das andere nur relativ. Solche Unterschiede scheinen im allgemeinen mehr bei Traktuserkrankungen vorzukommen, doch sind sie auch bei Schädigungen der Rindenzentren (und der Sehstrahlung) nicht ausgeschlossen; zum Beispiel zeigte bei einem von Nieden beobachteten Fall von Verletzung des linken Hinterhauptlappens die temporale Gesichtsfeldhälfte des rechten Auges einen fast kompleten absoluten Defekt, während die Grenzen des linken Auges auf der nasalen Seite nur ganz wenig eingeengt waren (auch für Farben), so daß der hemianopische Charakter der Störung überhaupt nur angedeutet

war. Die homonymen Defekte sind fast stets randständig, doch wurden in seltenen Fällen auch hemianopische Skotome beobachtet, sowohl parazentrale (unmittelbar an den Fixierpunkt grenzende) wie auch mehr exzentrische. Daß solche Fälle durch einen Herd im Hinterhauptlappen bedingt sein können, beweist ein Fall von HAAB.

Gelegentlich wurde Hemianopsie für Farben bei nicht hemianopisch eingeschränkten Außengrenzen gefunden, was als Farbenhemianopsie oder Hemiachromatopsie bezeichnet wurde. Fig. 67 zeigt einen solchen Fall.

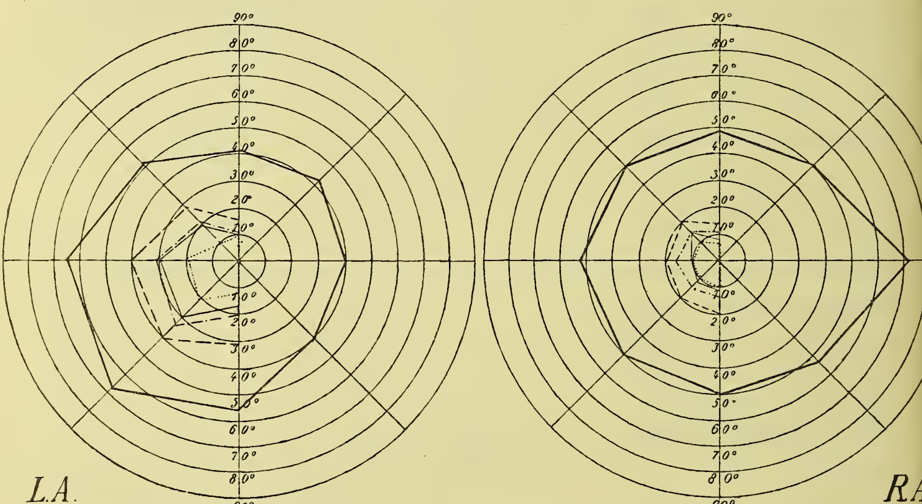


Fig. 67. Rechtsseitige relative Hemianopsie (Farbenhemianopsie), mit konzentrischer Einschränkung der Aussengrenzen und der linksseitigen Farbengrenzen.

——————— Weiß ———————— Rot.
— — — — — — Blau. ·················· Grün.
— · — · — · — Gelb.

Wo bei solchen Fällen auch Licht- und Raumsinn in den betroffenen Hälften genau untersucht wurden, fanden sich stets auch Störungen für diese Qualiäten, indes ist die Möglichkeit reiner isolierter Farbenhemianopsie nicht ausgeschlossen, da vereinzelte Fälle von bleibendem völligem Verlust des Farbensinnes beider Augen bei wieder normal gewordenem Licht- und Raumsinn beobachtet sind (UHTHOFF). Gewöhnlich aber handelt es sich um eine „Hemiamblyopie". Daß eine solche auch durch Prüfung mit Punktsehschärfe gefunden werden kann, zeigt Fig. 68; die Farbengrenzen

zeigten bei diesem Fall analoge Einengungen, wie die Grenze für Punktsehschärfe, während für die Außengrenze der hemianopische Charakter nicht mehr deutlich ist (ursprünglich bestand inkomplete Hemianopsie für alle Grenzen).

Doppelte Hemianopsie entwickelt sich in der Regel in zwei Schüben, indem zuerst einfache homonyme Hemianopsie auftritt, zu der sich später eine Hemianopsie der andern Hälften gesellt; sie kann aber auch auf einmal auftreten. Zuerst ist sie oft komplet und absolut, zuweilen bleibt aber ein kleiner Gesichtsfeldrest auf beiden Augen bestehen, oder, was häufiger ist, ein solcher Rest stellt sich nach anfänglich völliger Erblindung wieder her. Der zentrale Rest kann genau konzentrisch zum Fixierpunkt oder in der einen Hälfte beider Gesichtsfelder größer sein; gewöhnlich ist auch die Farbenwahrnehmung in dem Rest erhalten. Meist ist

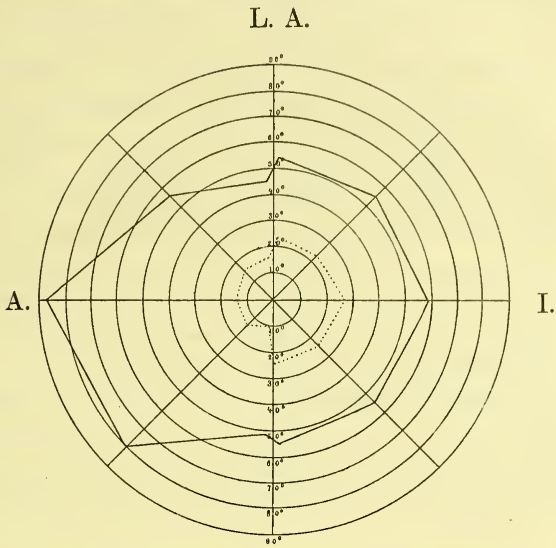


Fig. 68a. Relative linksseitige Hemianopsie.
.... Grenze für Punktsehschärfe (Punkt von 1,5 mm).

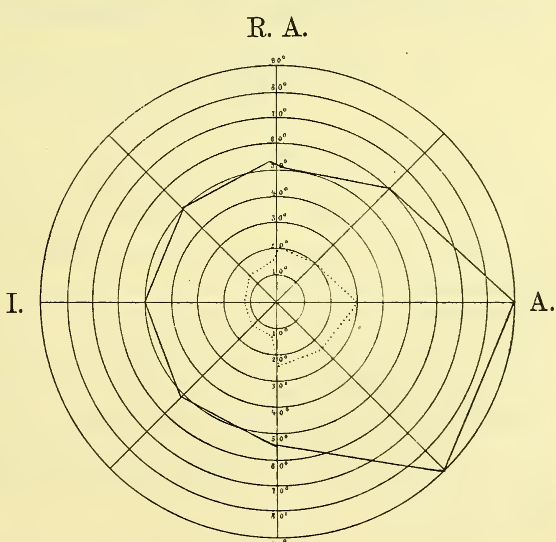


Fig. 68b.

doppelte Hemianopsie, auch wenn noch ein Gesichtsfeldrest vorhanden ist, mit erheblichen Orientierungsstörungen verbunden (s. III. Kapitel).

Lokaldiagnostisch ist die homonyme Hemianopsie nur unter Berücksichtigung der Kombination mit Begleitsymptomen (auch in ihrem zeitlichen Verhältnis zu einander) zu verwerten, da die Sehbahnen auf ihrem langen Verlauf vom Chiasma bis zu den Sehzentren durch örtlich sehr verschiedene Krankheitsherde getroffen werden können. Wichtig ist besonders auch die Berücksichtigung flüchtiger Nachbarschaftssymptome, sowie auch umgekehrt die Beachtung der Hemianopsie selbst als eines vorübergehenden Begleitsymptomes anderer intrakranieller Störungen; die homonyme Hemianopsie ist ein häufiges und gewöhnlich leicht nachweisbares indirektes Herdsymptom bei apoplektischen Insulten (vgl. Gesichtsfeldprüfung S. 185), und die Beobachtung des Zurückgehens der einzelnen Erscheinungen als Nachbarschaftssymptome einer Herderkrankung läßt oft die lokale Diagnose sicherer stellen als die bleibenden Ausfallssymptome für sich allein (s. dritten Teil S. 315).

III. Kapitel. Die Verwertung der Wahrnehmungen durch das Sehgedächtnis: Die erkennende Wahrnehmung.

A. Beziehungen zwischen Wahrnehmungen und Sehgedächtnis.

Gesichtswahrnehmungen sind Gesichtsempfindungen, deren Inhalt auf Raumdinge bezogen wird. Wir können die Gesichtsempfindungen mit ihren Qualitäten der Helligkeit und Farbe nicht von den räumlichen Wahrnehmungen loslösen; selbst bei geschlossenen Augen nehmen wir wenigstens die Lage und die Ausdehnung des erhellten Gesichtsfeldes wahr, wenn auch ohne scharfe Begrenzung. Zwar haben manche Blindgeborene Helligkeitsempfindungen ohne bestimmte räumliche Lokalisation, doch werden auch von solchen Blinden Druckphosphene analog wie vom Sehenden nicht am Orte der gereizten Netzhautstelle, sondern in der dieser Stelle entsprechenden „Sehrichtung" (s. im dritten Hauptabschnitt S. 240) lokalisiert (Schlodtmann).

Die Richtungs- und die Ausdehnungswahrnehmungen sind jedenfalls angeboren und finden unabhängig von der Seherfahrung, dem Sehgedächtnis, statt.

Die binokulare Tiefenwahrnehmung entwickelt sich zwar unter dem Einfluß der Seherfahrung, aber ohne Zweifel auf der Grundlage eines angeborenen Mechanismus, dessen Thätigkeit wahrscheinlich nicht zugleich reproduktiven Vorstellungen dient und von solchen an sich nicht abhängig ist, vielmehr wohl eine direkte Funktion der Wahrnehmungszentren darstellt. Sie scheint auch bei allgemeiner Seelenblindheit stets erhalten zu bleiben (s. u.). Nur beim „Verlernen des Sehens“ infolge lange andauernder Blindheit scheint das binokulare Tiefensehen auch verloren zu gehen; aber wenn eine solche immerhin komplizierte Funktion durch Unthätigkeit des betreffenden Mechanismus wieder verloren geht, so dürfte dies nicht auffallender sein, als das nicht mehr zu bezweifelnde Vorkommen der Amblyopia ex anopsia; auch die Sehschärfe, die doch sicher eine unmittelbare Wahrnehmungsfunktion ist, erreicht erst unter dem Einfluß der Übung ihre größte Ausbildung.

Alle sonstigen komplizierten Wahrnehmungen werden nur unter Mitwirkung von Erinnerungsvorstellungen oder wenigstens Erinnerungselementen verwertet: Die Wahrnehmung von Formen als Flächen- und Körpergrenzen (Formensinn im psychisch-ästhetischen Sinn), die monokulare Entfernungswahrnehmung (und wahrscheinlich auch die binokulare „absolute Tiefenwahrnehmung“), die Wahrnehmung absoluter Größen, die Erkennung bestimmter Gegenstände, die Erkennung von Sehdingen als zu einer bestimmten Gattung von Dingen gehörig (als Vertreter von visuellen Sammel- oder Gattungsbegriffen, die wieder Teilbegriffe oder Komponenten von komplizierten, mehrere Sinnesvorstellungen miteinander vereinigenden Sammelbegriffen sein können), das Erkennen von Objekten als Teile einer umfangreichen Reihe von Sehdingen (z. B. Häusern als Straßenteile), das Erkennen bestimmter Arten von Sehobjekten als — willkürlich aufgestellte — Symbole für irgend welche Vorstellungen (seien es Gesichtsvorstellungen oder Vorstellungen aus andern Sinnesgebieten oder ganze Komplexe verschiedenartiger Vorstellungen, oder Begriffe höherer psychischer Ordnung), wie z. B. Lautzeichen, Zahlzeichen, Musiknoten, Signale, mathematische Symbole (Wurzelzeichen, Integralzeichen u. s. w.), — alle diese erkennenden Wahrnehmungen, wie man sie nennen kann, sind von der Verknüpfung (Assoziation) der Seheindrücke mit Gesichts-Erinnerungsvorstellungen, also der Sehgedächtnisthätigkeit, abhängig, und im allgemeinen in umso höherem Maße, je komplizierter sie sind (vgl. auch B. Seelenblindheit).

Die durch Gedächtnisthätigkeit reproduzierte Vorstellung eines Sehobjektes oder eines Gattungsbegriffes von Sehobjekten (visuellen Gattungsbegriffes, s. o.) bezeichnen wir als aktuelles Erinnerungsbild; die in der Sehgedächtnissphäre durch Einwirkung früherer Wahrnehmungen hinterlassenen Veränderungen, die bestimmte reproduktive Gesichtsvorstellungen ermöglichen, können wir als latente oder noch besser als potentielle Erinnerungsbilder bezeichnen. Erinnerungsbilder können durch willkürliche Veränderungen und Kombinationen zu Phantasiebildern umgeformt werden.

Ist ein Erinnerungsbild Repräsentant eines bestimmten individuellen Gegenstandes, so ist es ein Individualerinnerungsbild; vertritt es einen Durchschnittstypus einer Reihe von Erinnerungsbildern ähnlicher (gleichartiger) Objekte, so haben wir ein Begriffserinnerungsbild.

Schon ein Individualerinnerungsbild ist meist das Produkt der Einwirkung einer Reihe von einzelnen Eindrücken (den, bestimmten Netzhautbildern entsprechenden, „Sehformen", wie sie Storch nennt); wir kennen, abgesehen von besonderen Verhältnissen, ein Ding erst genügend, wenn wir es von verschiedenen Seiten gesehen haben. Beim Binokularsehenden genügt eine beschränkte Anzahl von „Ansichten", unter Umständen selbst eine solche (z. B. bei einem Fadenmodell, einem Glaskasten u. s. w.), da er drei Dimensionen gleichzeitig wahrnimmt. Der Monokularsehende braucht eine Reihe stetig sich ändernder Eindrücke der Bilder des wahrnehmenden Auges. (Beim entwickelten Sehen bietet die bereits vorhandene Seherfahrung auch dem Monokularsehenden gewisse, die Auffassung der Wirklichkeitsform (Storch) und damit die Einprägung dieser ins Gedächtnis erleichternde Hilfsmittel, so die Kenntnis der Linearperspektive, die Schattenverhältnisse, die Luftperspektive u. s. w.).

Ein Begriffserinnerungsbild ist ein aus einer großen Menge von Individualerinnerungsbildern abgeleitetes Durchschnittsbild, also ein noch höher kompliziertes psychisches Gebilde.

Die Reproduktion von Erinnerungsbildern geschieht in besonderen Sehgedächtniszentren; sie wird nicht von den Wahrnehmungszentren selbst geleistet. Beweisend dafür ist, von ebenfalls sehr triftigen physiologischen Gründen ganz abgesehen, allein schon der Umstand, daß es Fälle giebt, bei denen Gesichtserinnerungsbilder von gewissen Gegenständen reproduziert werden können, obwohl die Gegenstände selbst (trotz guter Sehfähigkeit) mit dem Auge nicht

erkannt werden (s. unter B). Als Sehgedächtniszentren fungieren offenbar die konvexen Flächen beider Hinterhauptslappen mit angrenzenden Partien des unteren Scheitelläppchens; das Gedächtnis für gewisse besondere Gruppen von optischen Erinnerungsbildern ist aber ohne Zweifel einseitig lokalisiert; so haben wir genügenden Grund, anzunehmen, daß das Gedächtnis für Schriftzeichen (einschließlich Musiknoten) im allgemeinen links lokalisiert ist, und zwar mutmaßlich im Gyrus supramarginalis oder im Gyrus angularis oder dessen nächster Umgebung.

B) Die Störungen der erkennenden Wahrnehmung; Seelenblindheit.

Unter den erkennenden Wahrnehmungen begreifen wir sowohl das Erkennen von Sehobjekten als zu bestimmten Gattungsbegriffen von Sehdingen gehörig, wie auch das Wiedererkennen von individuellen Gegenständen. Eine erkennende Wahrnehmung beruht, psychologisch gesprochen, auf der Verschmelzung eines Seheindruckes mit einer Erinnerungsvorstellung (oder mindestens Elementen einer solchen) zu einem einheitlichen Bewußtseinszustand, der auch als Wahrnehmungsvorstellung bezeichnet werden kann. Dazu muß erstens die Reproduktion optischer Erinnerungsbilder möglich sein, und zweitens müssen die Seheindrücke zu solchen in Beziehung gesetzt werden können; die erkennende Wahrnehmung kann somit sowohl dadurch gestört werden, daß die Reproduktion von Erinnerungsbildern gelitten hat, wie auch dadurch, daß Seheindrücke nicht mehr zu den an sich noch möglichen Erinnerungsbildern in Beziehung gesetzt, somit auch nicht mit ihnen zu einer richtigen Wahrnehmungsvorstellung verschmolzen werden können. Eine Störung der Bildung von Wahrnehmungsvorstellungen nennen wir Seelenblindheit; diese ist also, wie man es gewöhnlich ausdrückt, ein Zustand, bei dem wohl „gesehen“, das Gesehene aber nicht erkannt wird, die Seele, d. h. das denkende Subjekt, kann mit dem Sehen nichts anfangen, sich von dem Gesehenen keine (oder keine rechte) Vorstellung mehr machen.

Entsprechend dem eben Dargelegten kann man mit Friedrich Müller zwei Arten von Seelenblindheit unterscheiden:

Seelenblindheit mit Verlust der Erinnerungsbilder, als Folge einer Störung des Sehgedächtnisses, und Seelenblindheit ohne Verlust der Erinnerungsbilder als Folge einer Unter-

brechung der Verbindung (Assoziation) zwischen den Wahrnehmungszentren und den Sehgedächtniszentren, wobei die Thätigkeit dieser Zentren für sich erhalten ist.

Ferner können wir die Seelenblindheit dem Umfange nach gliedern in allgemeine Seelenblindheit, bei der überhaupt nichts Gesehenes erkannt wird, und teilweise (oder partielle) Seelenblindheit, bei der nur gewisse Gegenstände oder gewisse Arten von Gegenständen nicht erkannt werden.

Endlich können wir auch verschiedene Grade von Seelenblindheit unterscheiden: Wird das Gesehene noch unsicher oder nur bis zu einem gewissen Grade, d. h. als zu einer gewissen allgemeinen Gattung von Dingen gehörig, erkannt, so ist die Seelenblindheit unvollständig; ist selbst dies nicht mehr möglich, besteht vollständige Verständnislosigkeit gegenüber dem Gesehenen, so ist die Seelenblindheit vollständig.

Die Art der Seelenblindheit giebt einen Hinweis darauf, ob die zu Grunde liegende anatomische Störung die Rinde oder das Mark betroffen hat, indem Seelenblindheit mit Verlust der Erinnerungsbilder auf eine Rindenstörung des Hinterhauptlappens (resp. beider Hinterhauptlappen) hinweist, Seelenblindheit ohne Verlust der Erinnerungsbilder auf eine Störung im Mark. Die gewöhnlich, namentlich bei der 2. Form, gleichzeitig vorhandene Hemianopsie läßt auch erkennen, ob die linke oder die rechte Hirnhälfte betroffen (resp. stärker betroffen) ist. Der Umfang der Seelenblindheit läßt mehr oder weniger auf Ort und Ausdehnung der anatomischen Störung schliessen.

Der Grad der Seelenblindheit weist einigermaßen auf die Intensität der anatomischen Schädigung hin.

In der folgenden Übersicht über die wichtigsten klinischen Formen der Seelenblindheit gliedern wir diese in erster Linie nach dem Umfang der Störungen, da dieser die Hauptanhaltspunkte für Ort und Ausdehnung der Krankheitsprozesse bietet.

1. Allgemeine Seelenblindheit.

Diese ist stets durch eine doppelseitige Affektion bedingt. Allgemeine vollständige Seelenblindheit macht gewöhnlich zunächst den Eindruck völliger oder fast völliger Erblindung, besonders bei Kindern und bei Kranken, die über ihren Zustand keine Rechenschaft geben können. Seelenblindheit ist in solchen Fällen zu vermuten, wenn auch kleineren und nicht auffallend hellen Gegen-

ständen, die vor den Augen bewegt werden, mit dem Blick gefolgt wird, aber weder sprachlich noch durch irgendwelche Gesten ein Verständnis des Gesehenen bekundet wird.

Bei kleinen Kindern kommt es gelegentlich nach länger dauernden, mit krampfhaftem Lidschluß verbundenen Augenkrankheiten zu einem Verlernen des Sehens, wobei auch von bewegten Gegenständen zuerst keine Notiz genommen wird; bei Entwickelung von Star kann es selbst bei älteren Kindern zu diesem Zustand kommen. In diesen Fällen ist offenbar jede psychische Verwertung des Sehens, auch das binokulare Tiefensehen, erloschen; das Wiedererlernen des Sehens geht aber gewöhnlich ziemlich rasch vor sich, wenn die Wahrnehmungsfähigkeit wiedergekehrt ist. Bei allgemeiner Seelenblindheit durch Hirnerkrankungen muß die monokulare Tiefenwahrnehmung auch geschädigt sein, die binokulare Tiefenwahrnehmung scheint aber, wenn sie überhaupt vorher vorhanden war, erhalten zu bleiben. Es ist indeß wohl denkbar, daß auch diese gelegentlich mit verloren gehen könnte, ohne daß eine dafür verantwortlich zu machende Sehstörung vorläge. Bei unvollständiger allgemeiner Seelenblindheit werden manche Dinge noch bis zu einem gewissen Grade erkannt, so z. B. Zimmer als Zimmerräume, ohne daß aber der Kranke erkennt, in welchem Zimmer seiner Wohnung er sich befindet.

Bei gleichzeitiger doppelter Hemianopsie mit erhaltenem zentralem Gesichtsfeldrest kann eine partielle Seelenblindheit (s. u.) zuerst den Eindruck einer allgemeinen Seelenblindheit machen, da zur Prüfung vorgehaltene Gegenstände oft nicht oder nicht ganz in das minimale Gesichtsfeld fallen und dann überhaupt nicht bemerkt werden.

Allgemeine Seelenblindheit ist gewöhnlich mit Verlust der Erinnerungsbilder verbunden, aber notwendig ist dies nicht, mindestens ein mehr oder weniger großer Teil der Erinnerungsbilder kann auch erhalten sein; z. B. bei Zerstörung der Wahrnehmungssphäre in der einen, und der Sehgedächtnissphäre in der andern Hirnhälfte kann allgemeine Seelenblindheit eintreten, wenn zugleich die Verbindung der funktionsfähigen Wahrnehmungssphäre mit dem gleichfalls erhaltenen Sehgedächtniszentrum der andern Seite unterbrochen ist.

Bestünde z. B. allgemeine Seelenblindheit bei rechtsseitiger Hemianopsie und wäre dabei die Erinnerung der Schriftzeichen und damit das Spontanschreiben erhalten (also keine agraphischen Störungen, vgl. u.), so wäre jedenfalls die dem Gedächtnis für Schrift-

zeichen dienende Partie der linken Hemisphäre noch funktionsfähig, dagegen wäre die linke Wahrnehmungssphäre (oder die zu ihr führende Sehstrahlung) und die rechte Sehgedächtnissphäre zerstört. Es kann in derartigen Fällen auch das topographische Gedächtnis mehr oder weniger erhalten sein; solche Kranke orientieren sich dann, anscheinend paradox, mit geschlossenen Augen besser als bei offenen Augen, wie es bei einer Patientin von Wilbrand der Fall war, die an nahezu allgemeiner Seelenblindheit litt.

2. Partielle Seelenblindheit.

Verhältnismäßig am häufigsten scheinen die sogen. Orientierungsstörungen zu sein, das ist Verlust oder erhebliche Verringerung der Fähigkeit, sich in vorher bekannten Räumen und Örtlichkeiten zurechtzufinden. Gewöhnlich dürfte hier eine mangelhafte Reproduktionsfähigkeit der für die Ortsverhältnisse in Betracht kommenden größeren Reihen zusammenhängender Erinnerungsbilder zu Grunde liegen; hier werden schon leichte Grade der Gedächtnisstörungen zu Orientierungsstörungen führen müssen. Vorübergehend kommen solche Orientierungsstörungen nicht selten bei leichteren Apoplexien vor. Orientierungsstörungen sind aber auch bei Erhaltensein der Reproduktion komplizierter Raumbilder möglich, analog wie allgemeine Seelenblindheit (s. o.); Wilbrand hat einen derartigen Fall beobachtet.

Von besonderem Interesse sind die partiellen Formen von Seelenblindheit, die wir unter der Bezeichnung „Schriftblindheit“ (Wortblindheit) zusammenfassen, wobei es sich um die Unfähigkeit handelt, Schriftzeichen zu erkennen. Da bei diesen Formen auch das Lesen gestört ist, so bezeichnet man sie vielfach auch als Alexie. Auch diese partielle Form zerfällt noch dem Umfange nach in Unterabteilungen, die sich natürlich auch kombinieren können: Nichterkennen von Buchstaben oder Wörtern (Buchstaben- oder Wortblindheit), Notenschrift (Musikblindheit), Ziffern (Ziffernblindheit); es können z. B. allein römische Zahlen nicht erkannt werden. Meist ist dabei auch das Gedächtnis für die betreffenden Schriftzeichen erloschen, womit in der Regel zugleich die Unfähigkeit, spontan und auf Diktat zu schreiben (Agraphie), verbunden ist.

Bei Erhaltung des visuellen Wortgedächtnisses, sogen. „reiner Wortblindheit“ *(Dejérine)* ist Spontan- und Diktatschreiben gut möglich, nur Abschreiben unmöglich (es kann nur nachgezeichnet werden).

Als besondere Unterformen sind zu erwähnen: Wortblindheit ohne Buchstabenblindheit: die einzelnen Buchstaben eines Wortes werden erkannt, das Wort aber kann nicht im ganzen gelesen werden; diese Form ist wohl als eine dem Grade nach von der Wort- und Buchstabenblindheit verschiedene Form anzusehen (unvollständige Wortblindheit), als mangelhafte Fähigkeit der Reproduktion ganzer Wortbilder; als Gegenstück ist auch Buchstabenblindheit ohne Wortblindheit beobachtet (Bramwell, Hinshelwood), was man auf Erschwerung der Verbindung zwischen Wahrnehmungszentren und Gedächtniszentrum für Schriftzeichen bei nur geringfügiger Alteration des Wortgedächtnisses selbst zurückführen kann: Die Erregung der Wahrnehmungszentren durch einzelne Buchstaben ist zu gering, um den Widerstand auf dem Wege nach der Gedächtnissphäre zu durchbrechen, während dies einem Komplex von Buchstaben gelingt; die Auslösung des ganzen Wortbildes in der Gedächtnissphäre erfährt durch die Assoziation (mit dem Wortklangbild und anderen mit dem betreffenden Wortbegriff verbundenen Begriffselementen) eine Verstärkung, sozusagen eine „Resonanz“. Ich habe selbst auch einen derartigen Fall beobachtet. Die Annahme eines gesonderten Buchstaben- und Wortzentrums wird durch das Vorkommen dieser beiden Unterformen von Buchstaben- resp. Wortblindheit nicht absolut notwendig gemacht.

Zweiter Hauptabschnitt. Leistungen des Blendenapparates.

I. Kapitel. Die optische Bedeutung der Irisblende.

Die Iris hat als bewegliche optische Blende die Aufgabe, die ins Auge fallende Lichtmenge zu regulieren. Sie wirkt so teils als Schutzapparat, indem sie die Netzhaut bei starker Lichteinwirkung durch Verengerung der Pupille vor Überreizung (Blendung) schützt, teils als optischer Hülfsapparat, indem sie durch ihre Verengerung bei heller Beleuchtung und bei Akkommodation die Zerstreuungskreise der Netzhautbilder verkleinert und dadurch die Bildschärfe steigert, durch ihre Erweiterung bei schwacher Beleuchtung die Helligkeit der Netzhautbilder erhöht, da im Dunkeln die Sehleistung weit mehr von der Helligkeit als von der Schärfe

der Netzhautbilder abhängt. Die Beeinträchtigung der Netzhautbildschärfe durch Aberration, Astigmatismus oder ungenaue optische Einstellung (zum Beispiel bei der „Sehleistung“ des unkorrigierten ametropischen Auges, s. S. 79) ist unter sonst gleichen Umständen um so größer, je weiter die Pupille ist. Dieser Einfluß kann bei abnormer Pupillenweite die Sehschärfe erheblich beeinträchtigen; durch Vorsetzen einer künstlichen Blende vor das Auge kann der störende Einfluß einer zu weiten Pupille ausgeschaltet werden, wie wir bei Besprechung der Aberration und des Astigmatismus gesehen haben. Bleibt die Pupille im Dunkeln abnorm eng, so kann dadurch eine Adaptationsstörung vorgetäuscht werden (s. S. 149).

II. Kapitel. Die physiologischen Leistungen der Irisblende und ihre Störungen.

Von ärztlich weitaus größerem Interesse als die direkte optische Bedeutung der Irisblende ist der in der Weite der Pupillen und ihrer Änderungen sich ausdrückende, ungemein komplizierte Bewegungsmechanismus der Iris, für den der populäre aber logisch anfechtbare Ausdruck „Pupillenbewegungen“ gebräuchlich ist. Die Pupillenbewegungen sind ein Reagens auf eine große Menge von Nerveneinflüssen, ihre Störungen sind daher ein ergiebiges Feld für die Erkennung einer Reihe von Nervenstörungen.

A) Physiologie der Pupillenbewegungen.

Die Weite der Pupillen und ihre Änderungen hängen vor allem von zwei Muskelkräften ab: einer verengernden, die durch den Sphincter Iridis, und einer erweiternden, die durch den Dilatator Iridis dargestellt wird. Ferner üben der Füllungszustand der Blutgefäße, der Elastizitätszustand des Irisgewebes und unter Umständen auch andere mechanische Faktoren einen gewissen Einfluß aus. Normalerweise zeigen die so vielerlei Einflüssen unterworfenen Pupillen stets gewisse Schwankungen, die auch bei möglichster Konstanz der Hauptfaktoren Differenzen bis etwa 0,5 mm bedingen. Als normale Pupillenweite können wir eine solche von 2,5—4 mm (bei Tageslicht) betrachten. Weitaus am wichtigsten ist

der Einfluß der Muskelkräfte, die selbst wieder von einer Reihe von Nerveneinflüssen abhängig sind; die anderen Faktoren sind indes insofern zu berücksichtigen, als sie die Wirkung der Muskelkräfte mehr oder weniger modifizieren können; wir wollen hier gleich das Wesentliche darüber vorausschicken.

Vermehrte Blutfüllung der Iris bewirkt eine Verengerung der Pupille; sie ist wohl stets zugleich mit perikornealer Injektion verbunden, die daher auf jene Ursache aufmerksam machen muß.

Erweiterung der Pupille durch verminderte Blutfüllung sehen wir bei intraokularer Drucksteigerung, die in der Regel auch mit sonstigen auf diese hinweisenden Erscheinungen verbunden ist (Prodromalsymptome des Glaukoms, Niederschläge auf der hinteren Hornhautwand bei seröser Iritis).

Abnahme der Elastizität des Irisgewebes (infolge vorausgegangener Entzündung oder infolge des Alters) macht sich für alle Bewegungen der Iris (auch für die Kokaïnwirkung) in gleichem Maße geltend.

Mechanische Störungen der Pupillenbewegung werden durch hintere (und vordere) Synechieen bedingt, die leicht objektiv nachzuweisen sind.

Die mögliche Mitwirkung der genannten Faktoren ist bei Bewegungsstörungen der Pupille stets zu berücksichtigen.

Wir besprechen nun die Einflüsse der Muskelkräfte und ihrer Abhängigkeitsbedingungen auf die Pupillen, soweit sie genügend klargestellt erscheinen und von klinischer Bedeutung sind. Viele Fragen in diesem ungemein verwickelten Gebiet bedürfen noch der Aufklärung.

I. Die pupillenverengernde Kraft und ihre Abhängigkeitsbedingungen.

a) Der motorische Apparat der verengernden Kraft.

Die verengernde Kraft wird durch einen motorischen Apparat dargestellt, dessen peripherisches Endorgan durch den Sphincter Iridis (Ringmuskel der Pupille), und dessen Zentralorgan durch eine Zellgruppe im vordersten Teile des Okulomotoriuskernes, den kleinzelligen paarigen Medialkern nach Bernheimer, gebildet wird. Die aus diesem „Sphinkterkern“ entspringenden Nervenfasern gesellen sich dem Nervus oculomotorius bei, verlaufen mit diesem

bis zum Ganglion ciliare, in das sie eintreten. Aus dessen Zellen entspringen neue Nervenfasern, die mit den kurzen Ziliarnerven zum Auge und schließlich zum Sphinkter Iridis gelangen.

b) Abhängigkeit der verengernden Kraft von Nerveneinflüssen.

Der Sphinkterkern kann auf reflektorische Weise erregt werden durch Lichtreize der Netzhaut und durch reflektorische Einflüsse des Großhirnes, ferner ist er einer Miterregung bei Erregung des Akkommodationskonvergenz-Apparates, sowie beim Lidschluß (Lidschlußreflex der Pupille) unterworfen.

1. Die Reflexbahn der Lichtreaktion (bis zum Sphinkterkern).

Die Sehnerven enthalten außer den dem Sehen dienenden Nervenfasern auch besondere Fasern, die dem Lichtreflex der Pupille dienen. Sie gehen wie die Sehfasern eine teilweise Kreuzung im

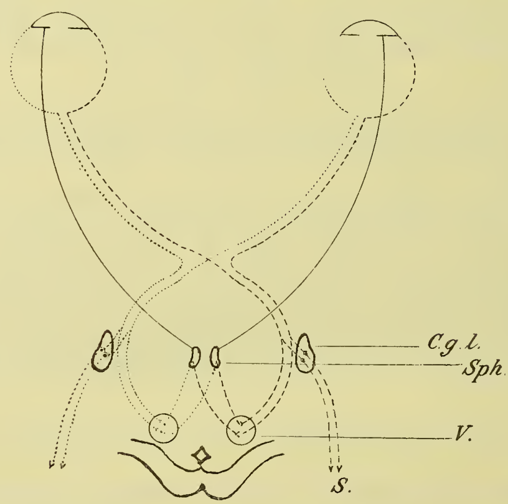


Fig. 69. *C. g. l.* = Corpus geniculatum laterale; *V.* = Primäre Endstation der zentripetalen Pupillenfasern unter den Vierhügeln; *Sph.* = Sphinkterkern; *S.* = Sehstrahlung zum Hinterhauptslappen.

Chiasma ein, indem die von gleichnamigen Netzhauthälften kommenden Fasern zum gleichnamigen Traktus ziehen. Am äußeren Kniehöcker trennen sie sich von den Sehfasern, die in den Kniehöcker eintreten. Die Pupillenfasern ziehen weiter zu den vorderen Vierhügeln, wo sie ihre erste Endstation haben. (Bernheimer). Von dieser ziehen Fasern weiter zum Sphinkterkern, und zwar ist auf Grund pathologischer Thatsachen anzunehmen, daß von jeder Seite der

primären Endstation aus Fasern zu beiden Sphinkterkernen gelangen. Damit stimmen auch experimentelle Untersuchungen LEVINSOHNS überein. Fig. 69 giebt eine schematische Darstellung des Lichtreflexapparates, wie sie den thatsächlichen Verhältnissen wohl am besten gerecht werden dürfte; sie entspricht im wesentlichen einem von HEDDAEUS schon 1889 als möglich aufgestellten Schema. Statt der direkten gekreuzten Verbindungen zwischen den primären Endstationen und den Sphinkterkernen könnte man auch eine Wechselverbindung zwischen beiden primären Endstationen annehmen, was keinen großen Unterschied macht. Von jeder Netzhaut und sogar von jeder Netzhauthälfte gelangen so Lichtreize zu beiden Sphinkterkernen, was der Thatsache entspricht, daß durch Reizung irgend einer Netzhautstelle eines Auges stets eine reflektorische Kontraktion beider Pupillen erfolgt. Im allgemeinen ist physiologischerweise die Kontraktion beider Pupillen bei Reizung nur einer Netzhaut gleichgroß; es kommt aber vor, daß die Pupille des gereizten Auges sich etwas stärker kontrahiert als die Pupille des nicht gereizten. (Eine ungleiche Kontraktion durch Lichtreiz eines Auges kann gelegentlich bei seitlicher Blickwendung dadurch vorgetäuscht werden, daß bei manchen Personen hierbei die Pupille des adduzierten Auges etwas enger ist als die des abduzierten.) Wir bezeichnen die Kontraktion der Pupille des gereizten Auges als direkte Lichtreaktion, die Kontraktion der Pupille des anderen, nicht gereizten Auges, als konsensuelle Lichtreaktion. Über andere Möglichkeiten des Schemas der Lichtreaktion der Pupillen s. S. 225.

2. Großhirn-Lichtreflexe der Pupille.

HAAB hat gezeigt, daß auch der Aufmerksamkeitszustand des Großhirnes von Einfluß auf das Verhalten der Pupillen gegenüber Lichtreizen der Netzhaut ist. Wenn in einem dunklen Raume eine Flamme seitwärts von der Blickrichtung (am besten etwa 45° davon) steht, so tritt bei Lenkung der Aufmerksamkeit auf die Lichtflamme (ohne Änderung der Blickrichtung und des Akkommodationszustandes) eine Kontraktion beider Pupillen ein. Die Stärke des Reflexes ist proportional der Helligkeit des Objektes, dem die Aufmerksamkeit zugelenkt wird. Man bezeichnet diesen Reflex als HAABS Hirnrindenreflex der Pupille. Besondere klinische Bedeutung hat dieser Reflex bis jetzt nicht erlangt. Weitere Untersuchungen führen vielleicht zu einer klinischen Verwertung (vgl. unter Pupillenstörungen

S. 226). Piltz konnte bei manchen Personen eine Verengerung oder Erweiterung der Pupillen beobachten, wenn sie sich lebhaft einen hellen oder einen dunklen Gegenstand vorstellten (Vorstellungsreflexe der Pupille). Zur Unterscheidung von anderen, ebenfalls vom Großhirn abhängigen Reflexwirkungen auf die Pupille bezeichnen wir jene beiden Reflexe als Großhirn-Lichtreflexe, da sie von einer Lichtwahrnehmung oder von einer Lichtvorstellung abhängen.

3. Die Mitbewegung bei Naheinstellung der Augen: Akkommodations- und Konvergenzreaktion der Pupille.

Bei jedem Konvergenz- und Akkommodationsimpuls findet zugleich eine Verengerung der Pupille statt. Ob diese Mitbewegung durch Überstrahlen einer Erregung von den der Konvergenzbewegung dienenden Zellgruppen des Okulomotoriuskernes oder von dem den Ciliarmuskel innervierenden Kern oder von beiden zusammen bedingt wird, ist noch nicht genügend klargelegt. Es wäre auch möglich, daß ein einheitlicher Großhirnimpuls für die Naheinstellung beider Augen die der Konvergenz, der Akkommodation und der Pupillenverengerung vorstehenden Zellkerne zusammen erregte.

Wahrscheinlich ist die Verengerung bei Naheinstellung mehr von der Konvergenz als von der Akkommodation abhängig. Vervoort fand $^1/_{11}$ Meterwinkel Konvergenz genügend zur Auslösung einer Kontraktion, während eine Akkommodation bis zu 3,5 D noch keine Kontraktion auslöste. Andere haben aber bei Akkommodation ohne Konvergenzänderung Pupillenverengerung gefunden, womit meine eigenen Beobachtungen übereinstimmen; allerdings wirkt die Konvergenz deutlich stärker. Ein von mir beobachteter Fall von zweifellos nukleärer doppelseitiger Ophthalmoplegia exterior (zeitweilig bestand fast völlige Unbeweglichkeit beider Augen) mit stets guter Licht- und Akkommodationsreaktion weist auch entschieden auf besondere Verknüpfung mit der Akkommodation neben der mit der Konvergenz hin. Im allgemeinen ist aber für die Untersuchung eine Trennung beider Zusammenhänge nicht möglich, da der Spielraum der isolierten Akkommodation und Konvergenz (die relative Akkommodations- und relative Konvergenzbreite) nur gering ist.

Soweit nicht eine etwaige Unterscheidung zwischen der Mitbewegung der Pupille bei Konvergenz und bei Akkommodation in Frage kommt, wird im folgenden diese Mitbewegung der Kürze

wegen stets als Konvergenzreaktion bezeichnet, ohne daß damit der Konvergenz eine ausschließliche Bedeutung gegenüber der Akkommodation zugesprochen werden soll.

4. Lidschlußreflex der Pupille.

Schon von A. von Gräfe wurde beobachtet, daß Pupillen, die nicht auf Licht reagierten, nach Schluß der Lider und Wiederöffnen derselben sich verengt zeigten und dann wieder auf ihre gewöhnliche Weite zurückgingen. Später wurde diese Erscheinung von mehreren wieder entdeckt. Es handelt sich hier offenbar wohl um eine Miterregung des Sphinkterkernes beim Lidschluß, die nach Wiederöffnung des Lides wieder nachläßt. Bei erhaltenem Lichtreflex kann jene Wirkung nicht zum Ausdruck kommen, da die mit den Lidbewegungen verbundenen Änderungen der Lichtwirkung jene Wirkung überkompensieren. Die Lidschlußverengerung der Pupille hat ein Analogon im Bellschen Phänomen, das ebenfalls eine Miterregung des Okulomotorius beim Lidschluß, wenigstens für die Hebungsmuskel, darstellt (s. S. 294).

Die Lidschlußreaktion der Pupille kann also nur beobachtet werden, wenn die Lichtreaktion erloschen oder wenigstens erheblich herabgesetzt ist; sie zeigt sich am deutlichsten bei energischem Lidschluß.

Man kann die Lidschlußreaktion auch beobachten, wenn man die Lider eines Auges auseinanderhält, so daß auf Aufforderung zum Lidschluß nur das andere Auge geschlossen wird (Piltz), oft stört aber hierbei das Bellsche Phänomen die Beobachtung.

5. Hemmungsvorrichtungen für die Pupillenverengerung.

Wie Braunstein gefunden hat, ist bei Tieren (Katzen) die auf sensible Reize erfolgende Pupillenerweiterung auf eine Hemmung des Tonus des Sphinkterzentrums zurückzuführen. Nach den Untersuchungen von Braunstein wie von Schiff und Foa ist anzunehmen, daß die Wirkung der sensiblen Reize auf die Pupillenerweiterung auf dem Wege über das Großhirn erfolgt. Die Erweiterung der Pupillen durch elektrische Erregung verschiedener Stellen der Großhirnrinde (mit schwachen Strömen) geschieht nach Braunstein ebenfalls durch Hemmung des Sphinktertonus, nach Parsons außerdem auch durch Sympathikusreizung. Nun hat Bach neuerdings bei der Katze am spinalen Ende der

Rautengrube ein paariges Zentrum gefunden, das hemmend auf den Lichtreflex der Pupille wirkt, und zwar hebt Reizung des linken Zentrums den Lichtreflex der rechten, Reizung des rechten Zentrums den Lichtreflex der linken Pupille auf. Einseitige Durchschneidung des verlängerten Markes in der Mitte der Rautengrube oder zentralwärts davon läßt die Lichtreaktion beider Pupillen wieder eintreten. Danach ist anzunehmen, daß jedes Hemmungszentrum einer Seite seine afferenten Bahnen (durch die es selbst erregt wird) von der gleichnamigen Seite her erhält und daß die von jedem Hemmungszentrum nach dem gekreuzten Sphinkterzentrum ziehenden Fasern bald auf die andere Seite übertreten, so daß z. B. durch einen rechtsseitigen Schnitt in der Mitte der Rautengrube die zu dem rechten Hemmungszentrum führende Bahn und gleichzeitig die von dem linken Hemmungszentrum zum rechten Sphinkterzentrum führende Bahn getroffen wird, wie es das Schema Fig. 70 darstellt. Da das rechte Hemmungszentrum keine Erregungen mehr erhält, kann es auch nicht mehr auf den linken Sphinkterkern wirken, es fällt somit die Hemmung für beide Sphinkterkerne aus. (Die gekreuzte Wirkung der Hemmungszentren weist darauf hin, daß die Hemmungswirkung am Sphinkterkern selbst oder dessen allernächster Umgebung ansetzen muß, nicht etwa in der ersten Endstation des Lichtreflexbogens unter den Vierhügeln, da eine einseitige Hemmungswirkung in dieser Station die Lichtreflexwirkung auf beide Sphinkterzentren abschwächen, aber nicht aufheben würde).

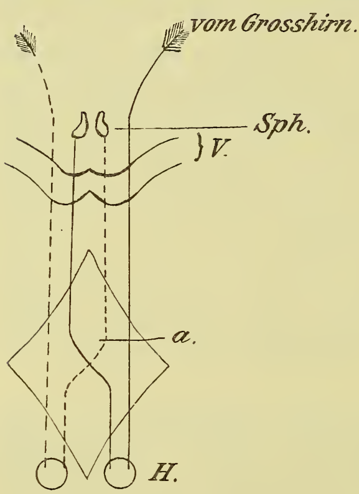


Fig. 70. *Sph.* = Sphinkterkern; *V.* = Vierhügel; *H.* = Hemmungszentrum nach BACH.

Es ist am wahrscheinlichsten, daß das BACHsche Hemmungszentrum seine Erregungen vom Großhirn her erhält, sowohl durch primäre Großhirnerregungen (psychische Erregungen) als auch durch Erregungen vermittelst sensibler Reize. So lassen sich die Ergebnisse der Versuche von BACH und BRAUNSTEIN (und BERNHEIMER) gut miteinander vereinigen. (Für BACHS Annahme, daß sein Hemmungs-

zentrum vom Optikus aus erregt wird, dürfte kein genügender Grund vorliegen; eine solche Annahme erschwert nur das Verständnis).

Es ist somit möglich, daß durch Reizung des Bachschen Zentrums gelegentlich eine einseitige sowie eine doppelseitige Lichtstarre der Pupille bewirkt werden könnte; es ist aber noch fraglich, ob dies wirklich eine rein reflektorische Starre und nicht vielmehr eine allgemeine Starre wäre. Bei narkotisierten Tieren läßt sich eben leider nicht die akkommodative Reaktion prüfen. Eine Lichtstarre durch Reizung dieses Hemmungszentrums müßte aber nach Verschwinden dieser Reizung gleichfalls zurückgehen, ja bei eventuell nachfolgender Lähmung des Bachschen Zentrums einer Steigerung der Lichtreflexe Platz machen. Die klinisch beobachteten Fälle von reflektorischer Pupillenstarre sind aber fast ausnahmslos dauernd.

Von größerer klinischer Bedeutung könnte dagegen die Unterbrechung der Bahnen zwischen den Sphinkterkernen und den Hemmungszentren sein (s. S. 227). Durch Annahme dieses Hemmungszentrums auch für den Menschen — wogegen bis jetzt kein Grund vorliegt — lassen sich manche klinische Thatsachen leichter verstehen.

Beim Menschen kommt für die Erweiterung der Pupille auf sensible Reize offenbar nicht bloß eine Hemmung des Sphinkterzentrums in Betracht, sondern auch eine aktive Erregung der erweiternden Kraft; indeß kommen bei Menschen, wie es scheint, individuell verschiedene Verhältnisse vor (siehe unter II b). Man findet nicht selten auch bei gesunden Menschen keine Pupillenerweiterung bei sensiblen Reizen, sei es, daß der Reflex wirklich fehlt oder daß er durch anderweite Einflüsse kompensiert wird. Bei der noch bestehenden Unklarheit dieser Verhältnisse läßt sich die Wirkung der sensiblen Reize auf die Pupillenerweiterung klinisch noch wenig verwerten.

II. Die pupillenerweiternde Kraft und ihre Abhängigkeitsbedingungen.

a) Der motorische Apparat der erweiternden Kraft.

Der peripherische Muskelapparat ist durch den Dilatator Iridis dargestellt; als dessen Innervationszentrum ist ohne Zweifel das von Budge in der grauen Substanz des untersten Hals- und obersten Brustmarkes gefundene und von ihm sogenannte Centrum

ciliospinale inferius anzusehen. Von diesem Zentrum entspringen sympathische Fasern, die beim Menschen das Rückenmark mit der vorderen Wurzel des ersten Dorsalnerven und wahrscheinlich zum Teil noch durch die achte Cervikalwurzel verlassen (Oppenheim). Bei Katzen und Hunden wurden sie auch noch im siebenten Hals- und zweiten Brustnerven gefunden. Sie ziehen durch die Rami communicantes zum Ganglion thoracicum primum, von da steigen sie mit dem vorderen Ast der Ansa Wieussenii zum Ganglion cervicale inferius und von da durch den Halssympathicus in das Ganglion cervicale supremum. Nach dem Austritt aus diesem trennen sich die Pupillendilatatoren von den Karotiszweigen des Sympathikus, gelangen in die Schädelhöhle zum Ganglion Gaßeri und laufen dann im ersten Trigeminusast zum Auge durch die langen Ciliarnerven, am Ganglion ciliare vorüber (Braunstein).

b) Abhängigkeit der erweiternden Kraft von Nerveneinflüssen.

Die Sympathikusbahn der Pupillen scheint in der Hauptsache der Unterhaltung eines bestimmten Tonus des Dilatator Iridis zu dienen, sie kann aber beim Menschen offenbar auch durch sensible Reize aktiv erregt werden. Dafür spricht vor allem der von Möbius beobachtete Fall von einseitiger Sympathikusverletzung, wo durch sensible Reize auf der Verletzungsseite keine Pupillenerweiterung bewirkt wurde, wohl aber auf der gesunden Seite, (aber auch hier nur in geringem Grade). Da wir indeß über die Abhängigkeit des Ursprunges der Dilatatorbahn von anderweiten Einflüssen sehr wenig wissen, haben diese Einflüsse bis jetzt keine wesentliche klinische Bedeutung erlangt.

B) Die Pupillenstörungen.

Die normale Pupille ist kreisrund, konzentrisch zum Rand, und bleibt dies auch bei allen Bewegungen. Diese erfolgen normalerweise mit einer gewissen Geschwindigkeit und Ausgiebigkeit, die von der Art und Stärke des erregenden Reizes abhängen. Die Ausgiebigkeit der Bewegungen bei bestimmten Reizenergien können wir ziemlich genau messen, für die Geschwindigkeit der Bewegungen müssen wir uns auf die Beurteilung auf Grund unserer Erfahrung beschränken; einen Pupillenkinematographen giebt es noch nicht.

Sowohl die Form wie die Weite der Pupille sind von den Bewegungskräften und den sie auslösenden Kräften abhängig. Die Unregelmäßigkeiten der Form werden wir in einem Anhang

für sich besprechen (S. 229), da wir über ihre Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe von Bewegungsstörungen noch zu wenig Sicheres aussagen können.

Eine abnorm weite Pupille (von mehr als 4 mm Durchmesser bei Tageslicht) bezeichnen wir als Mydriasis, eine abnorm enge Pupille ($<$ 2,5 mm) als Miosis.

I. Störungen der Leistungen der aktiv verengernden Kraft.

A) Direkte Störungen der Verengerungskraft, d. h. des motorischen Apparates für die Pupillenkontraktion.

Die Leistung des Sphinkter Iridis kann durch Lähmung sowie durch Krampf gestört werden.

1. Sphinkterlähmung: Paralytische Mydriasis.

Die Pupille ist erweitert, aber gewöhnlich nicht bis zum Maximum (vgl. indes Pupillenprüfung S. 238: Unterscheidung zwischen paralytischer und spastischer Mydriasis). Sie verengert sich weder auf Lichteinfall in beide Augen, noch bei Akkommodation und Konvergenz. Man bezeichnet den Zustand zuweilen auch als allgemeine oder absolute Pupillenstarre. Streng genommen dürfte man von absoluter Pupillenstarre nur sprechen, wenn auch keine Änderung der Pupillenweite durch die pupillenerweiternde Kraft möglich ist, aber man bezieht den Ausdruck „absolute Pupillenstarre“ im allgemeinen nur auf die Verengerungsbewegungen. Derselbe Bewegungsausfall kann auch auf andere Weise bewirkt werden, wie wir unten sehen werden. Der Begriff „absolute Pupillenstarre“ ist also weiter als der Begriff „paralytische Mydriasis“.

Ist der Sphinkter nicht vollständig gelähmt, handelt es sich also nur um eine Parese, so erfolgt die Kontraktion der Pupille auf Licht und Akkommodation verlangsamt und wenig ausgiebig (unvollständige allgemeine Starre); die Ursache der Sphinkterlähmung kann im Sphinkter selbst oder in den Endigungen seiner Nerven gelegen sein, oder im Sphinkterkern oder in der zentrifugalen Nervenbahn. Dieselbe Wirkung wie Kernlähmung hat Isolierung des Kerns von allen ihn erregenden Einflüssen (vgl. unter B. 3. S. 226).

Lähmung des Muskels selbst oder der Nervenendigungen im Muskel kann durch Gifte und durch mechanische Wirkungen (Kontusionsverletzungen, Glaukom) hervorgerufen werden; diese Form unterscheidet sich von der Lähmung des Kernes oder der Leitungs-

fasern dadurch, daß die Reaktion des Sphinkter auf pupillenverengernde Giftreize wie Pilokarpin und Eserin aufgehoben oder wenigstens deutlich verringert ist (Näheres s. unter Pupillenprüfung S. 239). Über die verschiedenen Lähmungsursachen s. im dritten Teil S. 309.

2. Sphinkterkrampf: Spastische Miosis.

Die Pupille ist verengt, im Dunkeln erweitert sie sich nur wenig, aber ihre Beweglichkeit ist erhalten. Die Ursache kann in der Iris selbst liegen, in einem Reizzustand der Iris entweder durch entzündliche Veränderungen oder durch mechanische Reizung (mäßige Kontusion des Augapfels), „traumatische spastische Miosis“, die gewöhnlich mit Akkommodationskrampf verbunden zu sein scheint. Die lokale Irisreizung ist mit perikornealer Injektion verbunden. (Ist diese nicht deutlich, so kann eine Reizung durch etwas grelle Beleuchtung sie leicht hervorrufen.)

Die Reizung kann ferner den Sphinkterkern oder die zentrifugale Bahn treffen; in diesen Fällen ist die Miosis durch sphinkterlähmende Gifte (Atropin u. s. w.) leichter und vollständiger zu beseitigen als bei Irisreizung (vgl. auch paralytische Miosis S. 228). Mittelbar könnte spastische Miosis auch durch Wegfall der Hemmungswirkungen auf den Sphinkterkern bedingt werden (vgl. S. 227, Störungen der Hemmungswirkungen).

B) Störungen der den motorischen Apparat der Pupillenverengerung beeinflussenden Kräfte.

1. Störungen der Lichtreflexbahn (bis zum Sphinkterkern).

Wir legen diese Störungen an der Hand des nebenstehenden Schemas Fig. 71 dar und wählen für die anatomisch einseitigen Störungen die linke Seite.

a) Anatomisch einseitige Störungen.

α) Ausfall der Empfindlichkeit der linken Netzhaut oder Unterbrechung des linken Sehnerven (Läsion 1) bewirkt, daß vom linken Auge aus eine Lichtreizung weder eine Verengerung der linken noch der rechten Pupille auslösen kann, dagegen können vom rechten Auge aus beide Pupillen durch Licht normal zur Kontraktion gebracht werden; die linke Pupille reagiert also nicht direkt auf Licht, aber konsensuell, die rechte reagiert direkt, aber nicht konsensuell. Ist die Empfindlichkeit der Netzhaut nur herabgesetzt

oder die Leitung im Sehnerven nur erschwert, so zeigt die direkte Reaktion der linken (und die konsensuelle der rechten) Pupille nur eine verringerte Exkursion, sie erfolgt aber mit normaler (oder doch fast normaler) Geschwindigkeit. Wir bezeichnen diese Störung der Reflexempfindlichkeit des Auges (**RE**) mit HEDDÄUS als **Reflextaubheit** (**RT**) des linken Auges, und zwar als vollständige RT, wenn die RE vollständig erloschen ist, als unvollständige

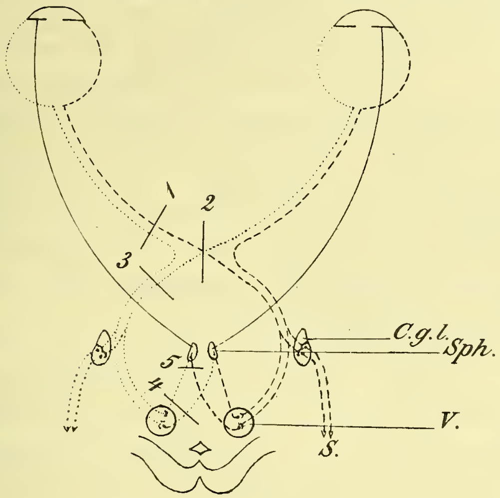


Fig. 71. *C. g. l.* = Corpus geniculatum laterale; *V.* = Primäre Endstation der zentripetalen Pupillenfasern unter den Vierhügeln; *Sph.* = Sphinkterkern; *S.* = Sehstrahlung zum Hinterhauptslappen.

RT, wenn die RE nur herabgesetzt ist. Mit dieser Pupillenstörung ist stets auch eine Sehstörung verbunden, wenn auch diese dem Grade nach der Störung des Lichtreflexes nicht parallel zu gehen braucht (vgl. im dritten Teil S. 311).

β) Unterbrechung der gekreuzten Sehnervenbündel im Chiasma (bei 2) in oder dicht an der Medianebene bewirkt, daß von den nasalen Netzhauthälften beider Augen keine Erregungen mehr zu den Sphinkterkernen gelangen, wohl aber von den temporalen Hälften. Bei Belichtung der temporalen Hälfte jeder Netzhaut reagieren daher beide Pupillen gut, bei Belichtung der nasalen Hälfte jeder Netzhaut in verringertem Maße; ein völliges Ausbleiben der Reaktion ist hierbei nicht möglich, da bei Belichtung der nasalen Hälfte vom Augeninnern aus auch Licht nach der temporalen Netzhauthälfte reflektiert wird, und diese somit stets miterregt wird, aber in verringertem Maße. Wir können den

Zustand als (relative) bitemporale hemianopische Pupillen**starre** bezeichnen, weil von beiden temporalen Gesichtsfeldhälften aus der Lichtreflex nur abgeschwächt (nur durch Reflexion auf die temporale Netzhauthälfte) ausgelöst wird. Diese Pupillenstörung ist stets auch mit einer bitemporalen Gesichtsfeldstörung verbunden (aber nicht notwendig umgekehrt).

γ) Unterbrechung des linken Traktus (bei 3) hat zur Folge, daß von den linken Netzhauthälften beider Augen die Sphinkterkerne nicht mehr erregt werden; Lichtreize aus den rechten Gesichtsfeldhälften bewirken eine abgeschwächte Reaktion, die durch die intraokulare Lichtreflexion auf die rechtsseitigen Netzhauthälften zustande kommt. Wir bezeichnen diese Störung als (relative) **rechts**hemianopische Pupillen**starre** (oder als **links**hemi**opische** Pupillen**reaktion**). Diese ist mit einer homonymen hemianopischen Gesichtsfeldstörung verbunden, wenn die Läsion die Seh- und Pupillenfasern des Traktus noch gemeinsam trifft, ehe diese sich am äußern Kniehöcker voneinander trennen.

Dieselbe Pupillenstörung, aber ohne analoge Sehstörung, tritt auch bei Läsion der ersten Endstation der Lichtreflexbahn unter den Vierhügeln (Fig. 71 *V*) auf und noch bei Störung etwas über diese hinaus (etwa bis 4 in der Figur), so lange noch die von *V* zu den beiden Sphinkterkernen gehenden Bahnen isoliert geschädigt werden können (noch nicht isoliert beobachtet, vgl. unter *ζ*). Über Vortäuschung hemianopischer Starre durch Haabs Reflex s. S. 232.

δ) In der Nähe des Sphinkterkernes (bei 5) können die zu diesem Kerne von beiden primären Endstationen aus führenden Bahnen geschädigt werden. Der linke Kern wird von beiden Augen aus nicht mehr erregt, während der rechte von beiden Augen aus (von allen 4 Netzhauthälften) noch erregt wird; die linke Pupille reagiert also weder direkt noch konsensuell, die rechte reagiert direkt und konsensuell, es besteht linksseitige reflektorische Pupillenstarre, d. h. Lichtstarre der Pupille ohne Störung der akkommodativen Mitbewegung und mit erhaltener R E (wenn diese nicht durch zufällige Komplikation gestört ist, vgl. Pupillenprüfung S. 234 unter 1 b.). Gewöhnlich ist die Pupille dabei mittelweit oder selbst verengt, worauf wir unten (s. unter b, S. 225) zurückkommen; bei oberflächlicher Untersuchung kann dadurch, wie W. König bemerkt hat, sogenannte „springende Mydriasis" vorgetäuscht werden, da bei heller Beleuchtung meist die reflektorisch starre Pupille weiter ist, bei dunkler die normale.

Die reflektorische Pupillenstarre kann auch unvollständig sein; die Pupille reagiert dann träge („Pupillenträgheit“), wobei die Größe der Exkursion gewöhnlich auch entsprechend verringert ist, aber gelegentlich selbst normal sein kann. Die Erweiterung nach Wegfall des Lichtreizes geht ebenfalls langsam vor sich, oft in noch auffallenderer Weise; die Pupille kann auch mehrere Sekunden verengt bleiben, bis die Erweiterung beginnt („neurotonische Lichtreaktion“ nach PILTZ; vgl. auch S. 227).

Die Lähmung des Sphinkterkernes selbst ist als rein motorische Störung schon S. 219 besprochen.

ε) Durch Übergreifen einer Chiasmaaffektion auf den linken Optikus oder Traktus kann sich β mit α oder mit γ kombinieren (was beides die gleiche Wirkung hat), d. h. es tritt linksseitige Reflextaubheit mit rechtshemianopischer Starre beider Pupillen (linkshemiopischer Reaktion) auf, die aber nur vom rechten Auge aus nachweisbar ist (mit entsprechender Sehstörung im ganzen Gesichtsfeld des linken und der temporalen Gesichtshälfte des rechten Auges).

ζ) Die Störungen γ und δ können sich ebenfalls kombinieren, und zwar zu linksseitiger reflektorischer Starre mit rechtshemianopischer Starre der rechten Pupille (von mir einmal beobachtet).

(Rein mediane Unterbrechung der von beiden primären Endstationen gekreuzt zu den Sphinkterkernen ziehenden Bahnen müßte bei Lichteinfall von beiden linken Gesichtsfeldhälften aus gute Reaktion der rechten und verminderte (nur durch intraokulare Reflexion bedingte) Reaktion der linken Pupille zustande kommen lassen, und umgekehrt bei Lichteinfall von rechts gute Reaktion der linken und verminderte der rechten Pupille — linkshemianopische Starre der linken und rechtshemianopische Starre der rechten Pupille —. Eine solche Störung ist noch nicht beobachtet; vielleicht wäre sie experimentell nachweisbar.)

Wir können somit folgende **Übersicht** über die durch einseitige (und mediane) Schädigungen der Lichtreflexbahn bis an den Sphinkterkern möglichen Pupillenstörungen aufstellen, wobei wir der Einfachheit der Bezeichnungen wegen die einseitigen anatomischen Störungen stets links annehmen.

1. Linksseitige Reflextaubheit (mit Blindheit oder Sehschwäche des linken Auges): Störung peripher vom Chiasma.

2. Bitemporale hemianopische Starre beider Pupillen, nur durch Einzelbelichtung jedes Auges nachweisbar (mit analoger Gesichtsfeldstörung): Mediane Chiasmaschädigung.

3. Rechtshemianopische Starre beider Pupillen, von jedem Auge aus nachweisbar, und zwar:

a) mit entsprechender Gesichtsfeldstörung (rechtsseitige Hemianopsie): Sitz im Traktus zwischen Chiasma und äußerem Kniehöcker;

b) ohne Gesichtsfeldstörung: Sitz zwischen Kniehöcker und dem Höhlengrau unter dem vorderen Vierhügel (zwischen 4 und 5 in Fig. 71).

4. Linksseitige reflektorische Starre: Sitz nahe dem Sphinkterkern (bei Läsion 5).

Durch Kombination von Nr. 2 mit Nr. 1 oder Nr. 3 entsteht:

5. Linksseitige Reflextaubheit mit vom rechten Auge aus auslösbarer hemiopischer Reaktion beider Pupillen (hemiopische Reaktion von der nasalen, hemianopische Starre von der temporalen Gesichtsfeldhälfte aus): Chiasmaaffektion mit Übergreifen auf den linken Optikus oder Traktus (entsprechende Gesichtsfeldstörung).

Durch Kombination von Nr. 3 und Nr. 4 entsteht:

6. Linksseitige reflektorische Starre mit rechtshemianopischer Starre der rechten Pupille (von beiden Augen aus nachweisbar).

Die einzelnen Störungen können natürlich auch Nachbarschaftssymptome eines in der Umgebung der betreffenden Bahnen gelegenen Herdes sein.

b) Anatomisch doppelseitige Störungen.

Bei doppelseitigen Läsionen in irgend einem Teil des Lichtreflexbogens (bis an die Sphinterkerne) ist natürlich der Lichtreflex beider Pupillen sowohl direkt wie konsensuell aufgehoben oder vermindert, die Konvergenzreaktion erhalten. Aus dem Fehlen direkter und konsensueller Reaktion beider Pupillen allein läßt sich daher nicht entnehmen, in welchen Teilen des Reflexbogens die Störungen gelegen sind. Es kann sich ebenso gut um doppelseitige reflektorische Starre wie doppelte hemianopische Starre oder doppelseitige Reflextaubheit beider Augen handeln. Doppelseitige Läsion der Bahnen peripher von den Kniehöckern ist stets mit doppelseitiger Sehstörung verbunden; genaueren Aufschluß giebt dann eventuell das Gesichtsfeld. Läsionen hinter den Kniehöckern bedingen doppelseitige reflektorische Starre ohne Sehstörung; dabei sind ferner die Pupillen häufig gleichzeitig verengt, es besteht Miosis. Eine solche ist aber nicht notwendig mit der reflektorischen Pupillenstarre ver-

bunden, sie ist durch diese an sich nicht bedingt, sondern als Komplikation aufzufassen. Es ist anzunehmen, daß ein erhöhter Tonus des Sphinkterkernes vorliegt, der entweder auf einem direkten Reizzustand beruhen kann, oder auf Ausfall der Hemmungswirkungen für den Sphinkterkern (vgl. unter 5), oder endlich auf gleichzeitiger Störung der aktiv erweiternden Kraft. Am meisten hat die Annahme eines Ausfalles der Hemmungswirkungen für sich; mit gewissen pathologisch-anatomischen Befunden ist sie gut im Einklang. Über die oft mit der reflektorischen Starre verbundene unregelmäßige Form (Entrundung) der Pupille s. S. 229.

In seltenen Fällen wurde Pupillenerweiterung bei Lichteinfall beobachtet, teils nach anfänglicher minimaler Kontraktion, teils ohne solche (Silex), sogen. paradoxe Lichtreaktion; sie wurde teils als reflektorische Dilatatorerregung durch psychische und sensible Wirkung des Lichtreizes (Frenkel), teils als indirekte Steigerung der Dilatatorwirkung infolge rascher Erschöpfung der Sphinkterleistung (Silex) erklärt.

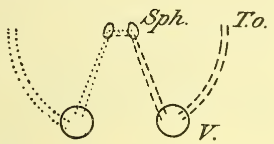


Fig. 72. *T.o.* = Tractus opticus; *V.* = Primäre Endstation unter den Vierhügeln; *Sph.* = Sphinkterkern.

Wir wollen nun noch auf ein paar andere Möglichkeiten des Verhaltens der Lichtreflexbahn hinweisen.

Das bisher in den Lehrbüchern meist angenommene Verhalten entspricht dem in Fig. 72 dargestellten Schema. Dieses Schema unterscheidet sich von dem in Fig. 71 angenommenen dadurch, daß von jeder primären Endstation der Lichtbahn die Leitung zu dem gleichseitigen Sphinkterkern weiter geht, und die Sphinkterkerne unter sich durch eine Querleitung verbunden sind. Bei diesem Schema macht besonders die Erklärung der einseitigen reflektorischen Pupillenstarre Schwierigkeiten, indem man für diese stets zwei Herde annehmen müßte, und dabei müßte dann die Pupille auf der gesunden Seite hemiopisch reagieren, was aber nach meinen Beobachtungen im allgemeinen nicht der Fall ist.

Diese Schwierigkeit sucht Heddäus dadurch zu umgehen, daß er für den Sphinkter Iridis zwei verschiedene Wurzeln resp. Kerne annahm, eine Zellgruppe, die nur von der Akkommodation (resp. Konvergenz) aus miterregt würde, und die andere, die nur durch die Lichtbahn erregt würde. Die einseitige reflektorische Starre könnte dann durch Schädigung der „Lichtwurzel" (resp. des Lichtkernes) allein bedingt sein. Gegen diese Annahme spricht der Umstand, daß auch bei unvollständiger einseitiger reflektorischer Starre, selbst wenn sie mit mäßiger Mydriasis verbunden ist, die Pupille im Dunkeln in der Regel enger bleibt als die andere Pupille; man müßte dann nach Heddäus diesen Umstand, sowie die Kombination mit Miosis stets auf gleichzeitige Reizung des „akkommodativen" Sphinkterkerns zurückführen. Auch die meist Jahre lang anhaltende Miosis bei reflektorischer Starre läßt es kaum annehmbar erscheinen, daß ein Lähmungszustand einer bestimmten Stelle von einem

so lange dauernden Reizzustand in der nächsten Nachbarschaft begleitet sein sollte. Bei der Heddäusschen Annahme könnte die Lichtbahn bis zum Sphinkterkern sowohl dem Schema der Fig. 71, wie dem der Fig. 72 entsprechen, und man müßte für die einseitige reflektorische Starre außer der Schädigung des „Lichtkernes" oder der „Lichtwurzel" auch eine zweite, dem Schema Fig. 71 oder 72 entsprechende Störung als mögliche Ursache zulassen.

Auch mit der Hypothese Marinas, der die Ursache der reflektorischen Starre in das Ciliarganglion verlegt (wegen der in diesem und den Ciliarnerven gefundenen atrophischen Veränderungen) müßte die Heddäussche Annahme zweier Sphinkterwurzeln kombiniert werden, da die Licht- und Konvergenzerregungen dann doch auch dem Ciliarganglion getrennt zugeführt werden müßten, wenn eine dieser Erregungen durch peripherische Leitungsstörung für sich allein ausfallen kann. Für Marinas Hypothese bestehen daher dieselben Schwierigkeiten wie für die von Heddäus.

Es sind auch noch andere Möglichkeiten des Reflexschemas denkbar, die aber keine Wahrscheinlichkeit für sich haben.

2. Störungen der Großhirnlichtreflexe.

Haab sah den von ihm gefundenen Hirnreflex mehrfach bei Paralytikern im Anfangsstadium fehlen. Jedenfalls gehört zum Vorhandensein dieses Reflexes die Funktionsfähigkeit der Sehrinde; es wäre denkbar, daß bei Fällen von Hemiamblyopie durch Affektion eines Hinterhauptlappens der Haabsche Reflex in hemianopischer Weise gestört wäre, ohne daß die Lichtreaktion einen hemianopischen Unterschied bei Belichtung der linken und rechten Netzhauthälften zeigte.

Wie Heddäus betont hat, könnte der Haabsche Reflex in Fällen von cerebraler Hemianopsie eine hemiopische Pupillenreaktion vortäuschen, indem der Lichtreflex bei Lichteinfall von der erhaltenen Gesichtsfeldhälfte her lediglich wegen Mitwirkung des Haabschen Reflexes stärker ausfiele als bei Lichteinfall von der blinden Seite her; in solchen Fällen müßte daher der Haabsche Reflex für die leistungsfähige Gesichtsfeldhälfte für sich allein untersucht und seine Ausgiebigkeit beobachtet werden (s. auch S. 232, Prüfung auf hemianopische Pupillenstarre).

3. Störungen der Konvergenzreaktion.

Diese Störungen kommen meist mit Lichtstarre zusammen vor und sind dann gewöhnlich durch Sphinkterlähmung bedingt (s. S. 219); es wäre aber auch möglich, daß Konvergenz- und Lichtreaktion zusammen durch Unterbrechung der betreffenden zum Sphinkterkern führenden Bahnen ohne Lähmung des Sphinkterkernes selbst gestört würden. An diese Möglichkeit wäre zu denken, wenn

gleichzeitig der Lidschlußreflex der Pupille erhalten wäre (s. unter 4) ebenso, wenn bei vollständiger oder unvollständiger Starre die Konvergenzreaktion (eventuell auch die Lichtreaktion) sehr träge aber doch ziemlich ausgiebig erfolgt; die Pupille kann nach Aufgabe der Konvergenz auch noch eine Zeitlang verengt bleiben und dann ganz langsam und allmählich sich erweitern („myotonische Pupillenbewegung“ nach Sänger, „myotonische Konvergenzträgheit“ nach Nonne, „neurotonische Konvergenzreaktion“ nach Piltz; die letzte Bezeichnung dürfte die beste sein).

Störungen der Konvergenzreaktion kommen aber zweifellos, wiewohl selten, auch ohne gleichzeitige Störung der Lichtreaktion vor, also als reine Konvergenzstarre (oder akkommodative Starre), die vollständig oder unvollständig sein kann. Die reine Konvergenzstarre kann mit Akkommodationslähmung verbunden sein, diese kann aber auch fehlen. Ich habe einen Fall beobachtet, wo auf einem Auge unvollständige reine Konvergenzstarre, auf dem anderen unvollständige reine reflektorische Starre bestand, bei guter Akkommodation beiderseits. Eine gleichzeitige Akkommodationsstörung kann auch in geringerem Grade ausgesprochen sein als die Konvergenzstarre (wie ich gleichfalls einen Fall beobachtet habe), und umgekehrt. (Hinsichtlich Akkommodationslähmung ohne Pupillenstörung siehe im dritten Teil.)

4. Störungen der Lidschlußreaktion der Pupille.

Im allgemeinen geht die Lidschlußreaktion bei lichtstarrer Pupille dem gleichzeitigen Verhalten der Konvergenzreaktion parallel, indem sie meist fehlt, wenn diese ebenfalls aufgehoben ist, also anscheinend Sphinkterlähmung besteht. Es wurden aber auch Fälle genügend glaubhaft beobachtet, wo trotz aufgehobener Licht- und Konvergenzreaktion noch die Lidschlußreaktion stattfand; es dürfte hier anzunehmen sein, daß in solchen Fällen der Sphinkter selbst nicht (oder nicht vollständig) gelähmt, sondern nur von dem Einfluß der Konvergenz- und Akkommodationswirkung abgeschnitten ist, während die Miterregung von der Facialisinnervation her noch möglich wäre. Auch bei neurotonischer Kontraktion reflexstarrer Pupillen kann die Lidschlußrektion normal sein, und umgekehrt kann bei normaler Konvergenzreaktion die Lidschlußreaktion tonisch sein (Piltz).

5. Störungen der Hemmungswirkungen auf die Pupillenkontraktion.

Über das Vorkommen solcher Störungen beim Menschen lassen sich bis jetzt nur Vermutungen aufstellen. Eine spastische Miosis

mäßigen Grades (mit guter Beweglichkeit der Pupille) könnte durch Schädigung des Bachschen Hemmungszentrums (der gekreuzten Seite bei einseitiger Affektion) oder der von diesem ausgehenden depressorischen Fasern bewirkt werden. Auch die bei reflektorischer Pupillenstarre häufig vorhandene Miosis könnte darin ihre Erklärung finden, wie oben (S. 225) schon angeführt wurde; die „Hemmungsfasern" und die „Lichtreflexfasern" dürften in der Nähe der Sphinkterkerne dicht beisammen liegen.

Die etwaige Wirkung einer Reizung des Bachschen Zentrums wurde schon bei der Physiologie der Pupillenbewegungen (S. 217) besprochen. Auf eine gewisse Labilität der Hemmungswirkungen dürfte vielleicht die Erscheinung des Pupillenschwankens („Hippus") zurückzuführen sein: auffallend lebhafte, über das physiologische Maß hinausgehende Schwankungen der Pupillenweite bei konstanter Beleuchtung und Akkommodation, wie sie nicht selten bei nervös leicht erregbaren Personen beobachtet werden.

II. Störungen der Leistungen der aktiv erweiternden Kraft.

1. Dilatatorlähmung: Paralytische Miosis.

Die Pupille ist verengt, die Beweglichkeit erhalten; die Pupille erweitert sich im Dunkeln aber weniger als die andere Pupille, die Differenz ist bei schwacher Beleuchtung deutlicher.

Diese Störung gleicht in ihrem Verhalten der spastischen Miosis durch Irisreizung, indem bei ihr auf Atropin auch nur unvollständige Erweiterung eintritt; das Fehlen der Zeichen von Irisreizung läßt spastische Miosis ausschließen. (Bei spastischer Miosis durch Reizung des Sphinkterkernes oder der Leitungsbahn bewirkt Atropin maximale Mydriasis, wie schon S. 220 erwähnt wurde).

Meist ist paralytische Miosis schon durch eine Begleiterscheinung genügend charakterisiert, nämlich durch einen leichten oder mäßigen Grad von Ptosis infolge von Lähmung des Musculus tarsalis superior (Müllerscher Lidmuskel); auch steht das untere Lid dabei etwas höher infolge gleichzeitiger Lähmung des Musculus tarsalis inferior; diese beiden Muskeln werden ebenfalls vom Sympathikus versorgt (s. Störungen der Lidbewegung S. 294).

Diese Begleiterscheinung der „sympathischen Ptosis" weist zugleich auf eine extraokulare Ursache der Lähmungsmiosis, entweder im Verlauf der Sympathikusfasern der Pupille oder in ihrem

Ursprunge. Das Fehlen dieser Begleiterscheinungen spricht aber nicht etwa bestimmt für eine in der Iris gelegene Ursache. Lokale Lähmung des Dilatator in der Iris selbst scheint nur nach Verletzungen vorzukommen (Traumatische Lähmungsmiosis) und ist hierbei in der Regel partiell, d. h. die Pupille ist nur entsprechend einem schmäleren oder breiterem Sektor verengt, d. h. abgeflacht.

Diese Abflachung tritt auf Atropinwirkung deutlicher hervor, indem die übrigen Teile der Pupille sich gut erweitern.

Man trifft zuweilen die Ansicht, daß Cocain bei paralytischer Miosis keine Erweiterung bewirke, und daß somit bei eintretender Cocainwirkung paralytische Miosis auszuschließen sei; das ist nicht richtig, da bei Sympathikusläsion zentral (d. h. spinalwärts) vom obersten Halsganglion die Cocainwirkung (mindestens lange Zeit) erhalten bleibt. Dasselbe gilt natürlich für Adrenalin und Suprarenin.

Durch Unterbrechung der das Centrum ciliospinale inferius erregenden Nervenbahnen, über die aber noch nichts bestimmtes bekannt ist, könnte ebenfalls die Erscheinung einer paralytischen Miosis bedingt werden, ohne daß eine erkennbare Möglichkeit bestünde, diesen Zustand von dem einer direkten Schädigung des Erweiterungsapparates zu trennen. Diese Möglichkeit ist daher nicht besonders zu besprechen.

(Über die Ursachen der paralytischen Miosis siehe im dritten Teil.)

2. Dilatatorreizung: Spastische Mydriasis.

Die Pupille ist mäßig oder auch stark erweitert, reagiert bei mäßiger Erweiterung gut auf Licht und Akkommodation, bei starker wenig, unter Umständen wohl auch gar nicht. Im letzten Fall dürfte es sich zugleich um Kombination mit Hemmung des Tonus des Sphinkterkernes (Reizung des Bachschen Zentrums) handeln, indem durch Großhirnerregungen sowohl eine Dilatatorreizung wie auch eine depressorische Wirkung auf den Sphinkter ausgelöst würde.

Geringe spastische Mydriasis kann durch Reizung des Halssympathikus, häufiger wohl durch einen Reizzustand seines Zentrums im Halsmark, bedingt sein (vgl. im dritten Teil).

Über die Unterscheidung erheblicher spastischer Mydriasis von paralytischer Mydriasis s. unter Pupillenprüfung S. 238.

III. Anhang: Unregelmäßigkeiten der **Pupillenform.** Unregelmäßigkeiten begleiten nicht selten die reflektorische Pupillen-

starre (vgl. o. S. 225), zuweilen auch die allgemeine Starre auf Grund organisch nervöser Störung, sowie die traumatische Miosis (vgl. S. 229) und die traumatische Mydriasis. Sie können aber auch ohne sonstige nachweisbare Störung auftreten; in der Regel sind sie dann Vorläufer der reflektorischen Starre (siehe auch dritter Teil).

Die Pupille erscheint oval verzogen, oder an einer oder mehreren Stellen abgeflacht oder ausgezogen, so daß eine unregelmäßig polygonale Form entstehen kann. Die Pupille kann auch im ganzen verschoben sein.

Diese Unregelmäßigkeiten können, wie Piltz betont, wechselnd sein oder konstant bleiben. Hintere Synechien und angeborene Anomalien (Kolobombildungen) sind durch die Untersuchung auszuschließen.

Durch Beobachtung der Licht- und Konvergenzreaktion ist zu prüfen, ob die Unregelmäßigkeiten etwa partielle Lichtreflexstörungen oder partielle Beweglichkeitsstörungen sind, und ob sie bei enger oder bei weiter Pupille deutlicher hervortreten (analog wie die Beweglichkeitsstörungen der ganzen Pupille; s. Pupillenprüfung S. 236, b und S. 238, c.

C) Die Pupillenprüfung.

Das Verhalten der Pupillen bei Beleuchtungs- und Konvergenzänderungen bietet ergiebige Anhaltspunkte, um Pupillenstörungen ihrer Art nach bestimmen und den Sitz der anatomischen Läsion mehr oder weniger genau feststellen zu können. Im allgemeinen lassen sich, namentlich bei Berücksichtigung der quantitativen Verhältnisse, durch die Prüfung dieses Verhaltens Schlüsse nicht bloß auf Störungen der Verengerung, sondern auch auf solche der Erweiterung ziehen; für die Fälle, wo auf Grund der Licht- und Konvergenzprüfung nicht bestimmt unterschieden werden kann, ob eine Störung der erweiternden oder der verengernden Kraft (resp. der sie auslösenden Einflüsse) vorliegt, wird die Differentialdiagnose noch besonders besprochen (s. S. 238). Vielfach lassen sich aus der Art der Pupillenstörungen auch Schlüsse auf eine bestimmte innere Erkrankung als ihre Ursache ziehen, was im dritten Teil besprochen wird.

I. Die Methoden der Reaktionsprüfung der Pupillen.

A) Prüfung der Lichtreaktion.

Man setzt zunächst den Kranken mit dem Gesicht gegen das Fenster, beobachtet, ob beide Pupillen gleich weit sind. Verschiedene

Weite — „Pupillendifferenz“ — läßt zunächst nur vermuten, daß irgend eine Pupillenstörung vorliegt. Mehr sagt diese bescheidene, aber manchen Ärzten leider zuweilen noch genügende Beobachtung nicht. Nun schreitet man zur:

1. Prüfung der direkten Lichtreaktion.

Beide Augen werden mit der Hohlhand verdeckt, der Patient aufgefordert, die Augen offen zu halten und nach dem hellen Himmel zu richten. Nach etwa 10 Sekunden zieht man die Hand von dem einen Auge weg, beobachtet die Anfangsweite der Pupille und die Geschwindigkeit und Ausgiebigkeit der Kontraktion. Ebenso verfährt man mit dem zweiten Auge. (Über die eventuelle quantitative Bestimmung s. S. 236.)

Ergiebt die Prüfung der direkten Lichtreaktion keinen ganz sicheren Unterschied, und besteht gleichzeitig eine Sehstörung oder eine objektive Erkrankung (z. B. Stauungspapille), die doch einen Unterschied der Reflexempfindlichkeit beider Augen vermuten läßt, so kann man nach Schirmer die Pupillenweite jedes Auges bei verbundenem zweiten Auge bestimmen, nachdem Patient etwa 3 Minuten gegenüber dem Fenster saß, ohne stärkere Blickbewegungen auszuführen, und das Auge an die Helligkeit adaptiert ist. (Wie Schirmer gezeigt hat, sind die Pupillen innerhalb eines ziemlich erheblichen Spielraumes der Helligkeit gleich weit, wenn das Auge an die Helligkeit adaptiert ist). Schirmer nannte die so gemessene Pupillenweite „physiologische Pupillenweite“. Dafür wollen wir, unter bereits freundlichst erfolgter Zustimmung Schirmers, den Ausdruck „adaptierte Pupillenweite“ einführen (da man bei Störung der Reflexempfindlichkeit doch eigentlich nicht von physiologischer Pupillenweite sprechen kann). Bei Störung der Reflexempfindlichkeit sind die Pupillen weiter, wenn das normale Auge verbunden ist, als wenn das affizierte verbunden ist. (Meßbar ist natürlich nur die Pupille des offenen Auges, die des verbundenen ist aber gleich groß.) Diese Methode eignet sich zum Nachweis der Herabsetzung der Reflexempfindlichkeit eines Auges nur, wenn keine Komplikation mit einer Bewegungsstörung besteht.

2. Prüfung der konsensuellen Lichtreaktion.

Diese Prüfung wird ausgeführt, wenn die direkte Lichtreaktion einer Pupille fehlt oder herabgesetzt ist. Das eine Auge wird ganz verdeckt, das andere nur von oben her soweit beschattet, daß man

von unten her die Pupille noch genügend deutlich beobachten kann. Das verdeckte Auge wird frei gelassen, die beschattete Pupille beobachtet.

3. Prüfung auf hemianopische Pupillenstarre (hemiopische Reaktion).

Anlaß zu dieser Prüfung liegt vor bei hemianopischer Gesichtsfeldstörung sowie bei einseitiger reflektorischer Pupillenstarre. Die Prüfung geschieht im Dunkelzimmer entweder mit seitlicher Gasflamme (was im allgemeinen genügt) oder mit Wolffs elektrischem Augenspiegel oder dem besonders zu diesem Zweck konstruierten Instrument von Kempner und Fragstein. (Bei Prüfung mit nicht zu kleiner Lichtquelle kommt es im allgemeinen nicht darauf an, ob deren Netzhautbild scharf begrenzt ist oder nicht, da die Helligkeit des Netzhautbildes in beiden Fällen dieselbe ist und nur die Randzone ihre Helligkeit ändert. Nur wenn man noch einzelne Sektoren besonders prüfen will, ist die möglichst scharfe Bildbegrenzung wichtig.) Man hält die Flamme so weit seitlich, daß auch bei unscharfem Netzhautbild die Makulagegend nicht mehr getroffen wird, und prüft nun die Kontraktion durch plötzliches Aufleuchtenlassen der Lichtquelle bis zu einer bestimmten Intensität sowohl von der linken wie von der rechten Gesichtsfeldhälfte her. Bei homonymer Hemianopsie wird zweckmäßig durch Belichtung der gleichsinnigen Netzhauthälften beider Augen geprüft, bei bitemporaler Hemianopsie von jeder Netzhauthälfte je eines Auges aus; auch bei einseitiger reflektorischer Starre ist diese monokulare Prüfung von Interesse für die Frage des Lichtreflexschemas. Vortäuschung hemianopischer Starre durch Haabs Reflex ist dadurch zu vermeiden, daß man den Untersuchten auffordert, nach einer bestimmten Stelle im Zimmer zu sehen, ohne auf die Flamme zu achten, und nun den Beleuchtungswechsel mehrmals hintereinander ausführt; der Lichtreflex ist ausgiebiger als Haabs Reflex und tritt bei wiederholtem Lichtwechsel wieder gleich stark auf; bei längerer starker Belichtung von der erhaltenen Gesichtsfeldhälfte her bleiben die Pupillen enger als bei Belichtung von der blinden Gesichtsfeldhälfte.

B) Prüfung der Konvergenzreaktion der Pupillen.

Patient sitzt mit der Blickrichtung parallel zum Fenster und sieht nach der gegenüberliegenden Wand. In etwa 15 cm Abstand vom Gesicht wird ein Finger gehalten und nun der Patient aufgefordert, scharf auf den Finger zu sehen; dabei ist darauf zu

achten, daß keine Änderung der Gesamtbeleuchtung beider Augen eintritt (z. B. nicht etwa das vom Fenster abgewandte Auge bei der Konvergenz mit der Pupille in den Nasenschatten kommt).

𝔖) Prüfung der Lidschlußreaktion der Pupillen.

Diese Prüfung kommt nur bei fehlender oder herabgesetzter Lichtreaktion in Betracht (vgl. oben S. 214). Der Patient sitzt dem Fenster gegenüber und sieht in die Ferne; er wird aufgefordert, die Augen einige Sekunden energisch zu schließen und dann wieder zu öffnen; man achtet darauf, ob die Pupillen jetzt enger sind als vor dem Lidschluß, und ob sie sich langsam oder rasch wieder erweitern. Man kann auch die Verengerung, wenigstens bei einem Auge, direkt beobachten, indem man die Lider auseinander hält und nur das andere Auge fest schließen läßt; man muß das offen gehaltene Auge einen Punkt fixieren lassen, um die Störung der Beobachtung durch das Bellsche Phänomen möglichst zu verhindern.

Über die eventuelle Prüfung des Haabschen Reflexes s. o. S. 213.

II. Die praktische Durchführung der Reaktionsprüfung.

a) Qualitative Bestimmung der wesentlichen Störungen.

𝔄) Bei guter direkter Lichtreaktion beider Pupillen.

Ist die direkte Lichtreaktion auf beiden Augen gut und gleich, so ist eine Störung der Lichtreflexbahn (samt ihrem motorischen Teil) im allgemeinen auszuschließen, jedenfalls besteht weder Reflextaubheit noch reflektorische Starre auf einem Auge. Im Zweifelsfalle ist noch die adaptierte Pupillenweite zu messen. Nur eine hemianopische Störung der Lichtreflexbahn wäre noch möglich, auf die jedenfalls zu prüfen ist, wenn etwa eine hemianopische Gesichtsfeldstörung vorliegt. Positiver Befund einer hemianopischen Starre würde für Sitz der Erkrankung in einem Traktus oder seiner nächsten Umgebung sprechen.

Nun ist noch die Möglichkeit einer Störung der Konvergenzreaktion zu prüfen.

1. Verengern sich bei dieser Prüfung beide Pupillen gut, so ist weiterhin jede Pupillenstörung ausgeschlossen.

2. Ist die Kontraktion einer oder beider Pupillen herabgesetzt oder erloschen, so liegt reine Konvergenzstarre (akkommodative Starre) einer oder beider Pupillen vor.

𝔅) Bei einseitiger Störung der direkten Lichtreaktion.

Ist die direkte Reaktion auf einem, beispielsweise dem linken Auge aufgehoben oder schwächer als auf dem andern, so wird zunächst entschieden, ob Reflextaubheit dieses Auges die Ursache ist oder nicht. Darüber entscheidet die Prüfung der konsensuellen Lichtreaktion.

1. Reagiert die rechte Pupille konsensuell nicht, oder ist die konsensuelle Reaktion ebenso herabgesetzt wie die direkte der linken Pupille, so liegt (vollständige oder unvollständige) Reflextaubheit des linken Auges vor. Die erhaltene direkte Lichtreaktion der einen (in unserem Beispiel rechten) Pupille gibt also über die Reflexempfindlichkeit beider Augen Auskunft. Eine Komplikation mit anderen Störungen der Lichtreflexbahn ist deshalb aber noch nicht auszuschließen, dazu bedarf es noch der Prüfung der konsensuellen Reaktion der linken Pupille selbst:

a) Ist die konsensuelle Reaktion der linken Pupille beim Aufdecken des rechten Auges gut, so ist eine gleichzeitige weitere Störung der Lichtreflexbahn auszuschließen. (Abgesehen von etwaiger hemianopischer Störung; vgl. S. 232.)

b) Reagiert die linke Pupille auch konsensuell nicht oder mangelhaft, so kommen für dieses Auge als Komplikation der Reflextaubheit noch alle unter 2 besprochenen Möglichkeiten in Betracht.

2. Reagiert die rechte (direkt gut reagierende) Pupille konsensuell gut, so ist Reflextaubheit des linken Auges auszuschließen, es liegt also sicher eine andere Störung vor. Nun wird zunächst entschieden, ob etwa reine reflektorische Starre vorliegt oder nicht.

a) Gute Konvergenzreaktion der linken Pupille entscheidet für reflektorische Starre.

b) Ist die Konvergenzreaktion erloschen oder ungefähr in gleichem Maße herabgesetzt wie die Lichtreaktion, also die gesamte Beweglichkeit gestört, so bestehen noch verschiedene Möglichkeiten. Diese können in zwei Gruppen geteilt werden, je nachdem die linke Pupille bei heller Beleuchtung weiter oder enger ist als die andere Pupille. (Vor allem aber ist eine mechanische Störung der Beweglichkeit durch hintere Synechien durch genaue Untersuchung — eventuell nach Einträufeln von Kokain [oder Atropin] — auszuschließen!) Im ersten Fall handelt es sich mindestens um eine mangelhafte Verenge-

rungsfähigkeit, im zweiten mindestens um eine mangelhafte Erweiterungsfähigkeit der Pupille.

α) Ist die nicht oder schlecht auf Licht und Konvergenz reagierende Pupille bei heller Beleuchtung weiter als die andere, dann liegt entweder (vollständige oder unvollständige) allgemeine Starre oder spastische Mydriasis vor. Wenn noch abgeschwächte Reaktion vorhanden ist, aber träge (langsam) erfolgt, so ist allgemeine Starre anzunehmen; im übrigen s. unter c) S. 238.

β) Ist die nicht oder mangelhaft auf Licht und Konvergenz reagierende Pupille bei heller Beleuchtung enger als die andere, dann liegt paralytische oder spastische Miosis vor, und zwar nur eine solche, wenn die Reaktion zwar verringert, aber nicht verlangsamt ist. Über die Unterscheidung dieser beiden Störungen s. S. 228. Es liegt dann überhaupt keine Lichtreflexstörung vor, die nur bei ungenauer Prüfung vorgetäuscht wird durch die nur eine geringe Exkursion zulassende Miosis. Ist die Reaktion deutlich verlangsamt, oder fehlt sie ganz, so liegt paralytische Miosis nebst Sphinkterlähmung vor.

Die einzelnen Störungsarten lassen sich nach den besprochenen Methoden auch bei anderen Kombinationen meist genügend bestimmen.

Ungleichheit der Pupille bei gleicher Beleuchtung beider Augen weist stets auf eine Komplikation hin, wenn die Ungleichheit nicht sehr gering ist und bei allen Änderungen der Weite (auf Licht und Konvergenz) stets die gleiche absolute Differenz zeigt, nur in diesem Fall ist die Pupillendifferenz als rein physiologisch-anatomisch bedingt anzusehen.

𝔈) Bei doppelseitiger Störung der direkten Lichtreaktion.

Ist die direkte Lichtreaktion doppelseitig herabgesetzt oder aufgehoben, so prüft man, ob auch die konsensuelle Reaktion auf beiden Augen gestört ist, oder ob eine Pupille noch gut konsensuell reagiert:

1. Ist die konsensuelle Reaktion einer Pupille gut, z. B. rechts, so ist reflektorische sowie allgemeine Starre der rechten Pupille ausgeschlossen, das rechte Auge ist aber (vollständig oder unvollständig) reflextaub (natürlich liegt dann auch Sehstörung vor). Das linke Auge ist nicht reflextaub, es besteht reflektorische oder allgemeine Starre (oder eventuell spastische Mydriasis); normale Konvergenzreaktion entscheidet für reflektorische Starre (andernfalls käme eventuell noch Prüfung c) S. 238 in Betracht).

Man sieht hier, daß auch gute konsensuelle Reaktion einer Pupille genügt, um über die Reflexempfindlichkeit beider Augen Auskunft zu geben, und daß also dabei die direkte Lichtreaktion beider Pupillen fehlen kann (Heddäus).

2. Ist die konsensuelle Reaktion beiderseits gestört, so giebt erst die Konvergenzreaktion weiteren Aufschluß.

α) Ist die Konvergenzreaktion ebenfalls doppelseitig gestört, so kann doppelseitige allgemeine Starre oder doppelseitige spastische Mydriasis vorliegen; über deren weitere Unterscheidung s. unter c). Gleichzeitige Störung der Reflexempfindlichkeit als Komplikation ist damit nicht ausgeschlossen, sie kann aber nur auf Grund begleitender Sehstörung mehr oder weniger bestimmt vermutet werden, analog wie unter *γ* ausgeführt.

β) Ist die Konvergenzreaktion nur einseitig, z. B. links gestört, so ist die rechte Pupille reflexstarr, für die linke bestehen die unter *α* erwähnten Möglichkeiten (allgemeine Starre oder spastische Mydriasis).

γ) Ist die Konvergenzreaktion beiderseits gut, so fragt es sich noch, ob doppelseitige Reflextaubheit oder reflektorische Starre vorliegt.

Doppelseitige Reflextaubheit ist anzunehmen, wenn gleichzeitig eine entsprechende Sehstörung vorliegt; Komplikation mit reflektorischer Starre wäre aber nur bei Vorhandensein der normalen Pupillenschwankungen sowie bei erhaltener Pupillenerweiterung auf sensible Reize ziemlich sicher auszuschließen, da bei reflektorischer Starre in der Regel auch die Erweiterung auf sensible Reize fehlt.

Doppelseitige reflektorische Starre ist anzunehmen, wenn jede Sehstörung fehlt.

Auffallend träge Reaktion sowie unregelmäßige Form der Pupillen weisen ebenfalls auf reflektorische Starre hin, auch wenn zugleich Reflextaubheit vorliegt.

b) Quantitative Bestimmung der Reaktionsstörungen.

Um den Grad der Pupillenstörungen zu veranschaulichen und auch etwaige Änderungen des Zustandes quantitativ bestimmen zu können, ist es zweckmäßig, gewisse Maße der Störungen zu fixieren. Für die Reflextaubheit (ohne Komplikation mit anderweiten Störungen) geschieht dies durch Messung der physiologischen oder

„adaptierten" Pupillenweite nach Schirmers Methode (s. o. S. 231). Für die anderen Störungen sind Messungen im Dunkelzimmer geeigneter.

Die Messung geschieht mittelst sog. Pupillometer, am einfachsten und für die praktischen Zwecke völlig genügend mit Haabs Pupillometer, einer Serie von schwarzen Pupillenbildern auf weißem Grunde in Intervallen von 0,5 mm Durchmesser. (Dem ophthalmoskopischen Atlas von Haab sind drei Exemplare beigegeben.) Durch Vergleichung der Pupillenweite mit den auf dem Pupillometer angegebenen Weiten lassen sich Unterschiede von weniger als $^1/_4$ mm noch abschätzen.

Nachdem etwaige Störungen der Reflexempfindlichkeit durch die Prüfung bei Tageslicht festgestellt oder ausgeschlossen wurden, wird weiterhin das Verhalten der Pupillenweite unter verschiedenen Beleuchtungs- und Konvergenzverhältnissen im Dunkelzimmer geprüft.

Man kann entweder eine helle Gasflamme benützen oder elektrisches Licht (das aber in seiner Intensität abstufbar sein muß). Die Flamme hält der Untersucher neben seinem Kopfe in einem Abstand von ca. 30 cm vom Patienten, dieser sieht zwischen der Lampe und dem Kopf des Untersuchers in die Ferne, wobei darauf zu achten ist, daß keine Konvergenzbewegung während der Prüfung erfolgt. Zunächst wird die Flamme so weit abgeschwächt, daß die Pupillen eben noch genügend genau meßbar sind, und (was bei verlangsamter Lichtreaktion wichtig ist) einige Zeit, etwa 15 Sekunden, gewartet, dann die Weite der Pupille festgestellt. Darauf wird bei möglichst heller Flamme gemessen. (Dies muß, sobald die maximale Verengerung eingetreten ist, rasch geschehen, zuweilen muß vor der Messung der zweiten Pupille noch einmal verdunkelt werden, damit nicht durch Adaptation an die größere Helligkeit die Pupille sich inzwischen wieder erweitert.) Nun erfolgt noch eine Messung bei mittlerer Beleuchtung, zunächst ebenfalls bei Fernblick und dann unter gleichbleibender Beleuchtung bei maximaler Konvergenz (ohne Änderung der binokularen Blicklinie). Die gefundenen Pupillenweiten lassen sich bequem aufzeichnen, am übersichtlichsten nach einem Schema, wie es mein früherer Assistent Dr. Stange eingeführt hat. Siehe folgendes Beispiel:

		d.	h.	m.	
Pu.	l.	7,0	3,0	6,0	3,0
	r.	5,0	4,0	4,75	2,5
			F.		A.

wobei d, h, m = dunkle, helle, mittlere Beleuchtung, F = Fernblick, A = maximale Akkommodation. Man ersieht aus den beiden ersten Kolonnen ohne weiteres das Verhalten der Lichtreaktion beider Pupillen (unter der Voraussetzung, daß mindestens ein Auge gut reflexempfindlich ist), aus den beiden letzten das Verhalten der Konvergenzreaktion.

(Das gewählte Beispiel bedeutet eine unvollständige rechtsseitige reflektorische Starre.)

c) Unterscheidung zwischen paralytischer und spastischer Mydriasis.

Hat die Pupillenprüfung eine Störung der Licht- und Konvergenzreaktion ergeben, so ist nicht ohne weiteres sicher, ob es sich um paralytische oder spastische Mydriasis handelt; nur wenn noch eine gewisse Beweglichkeit der Pupille vorhanden ist, läßt träge Bewegung auf paralytische, prompte Zuckung mit raschem Nachlaß auf spastische Mydriasis schließen. Ist keine ihrer Art nach erkennbare Beweglichkeit mehr wahrzunehmen, so kann spastische oder paralytische Mydriasis vorliegen, und zwar kann diese auf organischer Lähmung (durch Kern- oder Leitungsstörung) oder auf Giftlähmung beruhen, unter der wir sowohl die medikamentöse wie auch die durch Fleischvergiftung (und analoge Vergiftungen) bedingte Lähmung begreifen (s. S. 133 Anm.). Traumatische Mydriasis verhält sich im allgemeinen wie die Giftlähmung; bei ihr lassen aber sonstige Verletzungsfolgen (Sphinktereinriß, etc.) und Anamnese gewöhnlich keinen Zweifel. Auch die glaukomatöse Mydriasis gleicht der Giftlähmung, anderweite Symptome von Glaukom fehlen nie. Traumatische und glaukomatöse Mydriasis könnte man beide als mechanische Mydriasis bezeichnen.) Für die Unterscheidung der verschiedenen Mydriasisformen können wir folgende Sätze aufstellen:

A) Verhalten von Pupille und Akkommodation ohne Anwendung von Medikamenten.

1. Fälle von nichtmaximaler Mydriasis mit völlig aufgehobener Beweglichkeit der Pupille sind aller Wahrscheinlichkeit nach organische Lähmungen, besonders wenn Akkommodationslähmung damit verbunden ist.

2. Bei maximaler Mydriasis ohne Akkommodationslähmung ist spastische Mydriasis anzunehmen.

3. Bei maximaler Mydriasis mit Akkommodationslähmung ist medikamentöse Mydriasis wahrscheinlich.

Auf Grund des klinischen Verhaltens von Pupille und Akkommodation ist also zunächst meist nur eine Wahrscheinlichkeitsdiagnose möglich, wenn nicht sonstige Umstände (z. B. allgemeine Okulomotoriuslähmung, anamnestische Feststellung von Atropingebrauch etc.) die Diagnose schon genügend sichern. Weiterhin wird sich die Diagnose meist durch Anwendung miotischer Mittel sichern lassen.

B) Verhalten von Pupille und Akkommodation gegen Miotika.

1. Wirkt 1 Tropfen einer 2 proz. Lösung von Pilokarpin gut, dann liegt sicher organische Lähmungsmydriasis vor.

2. Wirkt 1 Tropfen einer 2 proz. Pilokarpinlösung nicht oder kaum merklich, so ist entweder spastische oder medikamentöse Mydriasis anzunehmen. Ist dabei die Akkommodation gut, so liegt spastische Mydriasis vor (bei der medikamentösen ist immer zugleich auch die Akkommodation geschädigt); ist die Akkommodation herabgesetzt, so ist medikamentöse Lähmungsmydriasis wahrscheinlich, aber nicht absolut sicher, da es sich um eine hysterische Akkommodationslähmung handeln könnte. Diese muß daher erst ausgeschlossen werden, was bei einseitiger Störung leicht möglich ist (s. S. 134). Bei doppelseitiger Störung wären eventuell stärkere Pilokarpindosen anzuwenden: Werden Pupillen und Akkommodation gleich wenig beeinflußt, so liegt medikamentöse Lähmung vor; bei spastischer Mydriasis mit hysterischer Akkommodationslähmung muß ein objektiv nachweisbarer Akkommodationskrampf eintreten (s. S. 126), da der Ciliarmuskel keinen Antagonisten hat.

d) Unterscheidung zwischen geringer spastischer Mydriasis der einen und geringer Miosis der anderen Pupille.

Bei geringen Abweichungen und guter Beweglichkeit beider Pupillen könnten Zweifel bestehen, ob die weitere oder die engere Pupille die pathologische ist, d. h. ob geringe spastische Mydriasis der einen Pupille, oder aber geringe spastische oder paralytische Miosis der anderen Pupille vorliegt; in allen diesen Fällen sind beide Pupillen gut beweglich.

Hier entscheidet das Verhalten der Pupillen im Dunkeln (nicht Kokain, vgl. S. 229): Tritt die Pupillendifferenz im Dunkeln nicht

deutlicher hervor, so handelt es sich um spastische Mydriasis der weiteren Pupille, andernfalls um Miosis der engeren. Wird diese Probe nicht gemacht, so bleibt die Ursache der Pupillendifferenz so dunkel wie die Pupille. (Über die Unterscheidung zwischen spastischer und paralytischer Miosis s. S. 228.)

Dritter Hauptabschnitt.
Leistungen des Bewegungsapparates des Sehorgans.

Der Bewegungsapparat des Sehorgans besteht aus einem Bewegungsapparat für die beiden Augäpfel und einem Hilfsapparat für die Bewegungen der Lider.

I. Kapitel. Leistungen des Augenbewegungsapparates.

A. Die normalen Bewegungsleistungen.

1. Die Bedeutung der Augenbewegungen für das zweiäugige Sehen.

Der Bewegungsapparat der Augen dient dazu, die Gesichtslinien beider Augen zusammen in einem großen Teil des Raumes auf beliebige Punkte zu richten und beiden Netzhäuten dabei eine bestimmte Lage (Orientierung) zu geben, die für eine bestimmte Stellung des Augenpaares im wesentlichen stets dieselbe ist (vgl. u.).

Ein Punkt, auf den die Gesichtslinien beider Augen gerichtet sind, dessen Bild also in beiden Augen in den (physiologischen) Netzhautmittelpunkt fällt, wird einfach gesehen, er erscheint in einer bestimmten Richtung und in einem bestimmten Abstand von unserem subjektiven Augenmittelpunkt aus, dem von Hering sogenannten Doppelauge oder „imaginären Zyklopenauge". Was also in der Gesichtslinie eines Auges liegt, erscheint uns nicht in der Richtung dieser monokularen Gesichtslinie von dem einen Auge aus, sondern in der Richtung einer Linie, die von einem in der Mitte zwischen beiden Augen hinter der Nasenwurzel liegenden Punkt ausgeht. Wir bezeichnen diese den beiden Gesichtslinien gemeinsame Sehrichtung mit Hering als **binokulare Blicklinie.** Man kann die Mitte der Grundlinie als ihren Fußpunkt ansehen. Korrespondierende Netzhautpunkte haben ebenfalls eine gemeinsame Sehrichtung, die von der binokularen Blicklinie um einen bestimmten Winkel nach bestimmter Richtung abweicht.

Da die Bewegungsausschläge jedes Auges nach den Bewegungen seiner Blicklinie, d. h. der Verbindungslinie zwischen dem jeweiligen Fixierpunkt und dem Drehpunkt des Auges, zu messen sind, werden wir im folgenden bei Augenbewegungen stets von Bewegungen der Blicklinie sprechen; für unsere praktischen Zwecke können wir die Blicklinie im allgemeinen zugleich als Vertreterin der Gesichtslinie gelten lassen, da es praktisch auf eine Unterscheidung zwischen beiden gewöhnlich nicht ankommt. Da die Gesichtslinie die Hornhaut in der Regel etwas nasenwärts vom Hornhautpol der optischen Achse schneidet, so muß dies auch für die Blicklinie der Fall sein, da sie vom Fixierpunkt zum Drehpunkt des Auges geht, der hinter dem Knotenpunkt und dicht hinter der Mitte der optischen Achse liegt. Man nennt den Winkel, den die Blicklinie mit der optischen Achse bildet, den Winkel γ (s. Fig. 81 S. 291).

Den von der Blicklinie eines Auges bestreichbaren, auf eine zum Auge konzentrische Kugelfläche (analog wie das Gesichtsfeld) projizierten Raum bezeichnen wir als **Blickfeld** eines Auges (das Feld, das der Blickpunkt auf der Projektionsfläche durchlaufen kann). Das auf eine sehr ferne Frontalebene (die wir als Teil einer unendlich großen Kugelfläche betrachten können) projizierte Blickfeld fällt für beide Augen normalerweise zusammen (wenn wir uns den innerhalb des Blickfeldes liegenden Teil der Nase durchsichtig denken), indem von der normalen Ruhelage der Augen aus (s. S. 243) die gleichsinnigen Bewegungen beider Augen nach allen Richtungen im allgemeinen dieselben Ausschläge zeigen; nur nach links oben und rechts oben bleibt oft das abduzierte Auge mit der Blicklinie etwas zurück, was offenbar rein mechanisch (durch größeren Widerstand) bedingt ist. Der Kürze halber wollen wir das auf eine sehr ferne Frontalebene projizierte Blickfeld als Fernblickfeld bezeichnen. Das zweiäugige Fernblickfeld ist also normalerweise mit dem einäugigen im wesentlichen identisch.

Für nähere Abstände rücken die Blickfelder im Raum mit ihren der Ruhelage der Blicklinien entsprechenden Zentren auseinander; ihre Form und Winkelausdehnung bleibt aber natürlich dieselbe (die Form bleibt dem Fernblickfeld geometrisch ähnlich), das Blickfeld läßt sich daher an einem Perimeter von beliebigem Radius prüfen. Normalerweise hat das Blickfeld eine Ausdehnung von etwa 45° nach jeder Seite, 35° nach oben, 50° nach unten.

Das ganze Raumgebiet, innerhalb dessen beide Blicklinien auf

einen Punkt gerichtet werden können, also das „Gebiet der binokularen Einstellung", wollen wir den **binokularen Blickraum** nennen. Seine Form gleicht ungefähr einem an der Spitze abgerundeten oder abgeplatteten Kegel, dessen Basis das Fernblickfeld bildet, und dessen Spitze oder besser Kulminationspunkt nahe dem „Doppelauge" liegt. Dieser nächste Punkt, auf den beide Blicklinien noch durch stärkste Konvergenz eingestellt werden können, ist der absolute Konvergenznahpunkt oder Blicknahpunkt; er liegt gewöhnlich am oder nahe am Nasenrücken, etwas unterhalb der horizontalen Blickebene; seine Lage entspricht also einer gesenkten Lage der binokularen Blicklinie. Als normaler Abstand von der Grundlinie kann ein solcher von etwa 5 cm gelten.

Für andere Lagen der binokularen Blicklinie liegen die Konvergenznahpunkte weiter vom „Doppelauge" ab, und zwar für die gehobenen Blickebenen weiter als für die gesenkten, und in den einzelnen Blickebenen um so weiter, je weiter die binokulare Blicklinie von der Medianebene abweicht. Wir wollen die für diese anderen Lagen der binokularen Blicklinie geltenden Konvergenznahpunkte als relative Blicknahpunkte bezeichnen (da „relative Konvergenznahpunkte" gewöhnlich die Nahpunkte der relativen Konvergenzbreite bei bestimmter Akkommodation genannt werden, s. S. 110).

Innerhalb des binokularen Blickraumes ist sowohl die relative wie die absolute Tiefenwahrnehmung am leistungsfähigsten. Die relative Tiefenwahrnehmung (s. S. 154) erreicht ihre höchste Leistungsfähigkeit in der nächsten Umgebung des binokularen Blickpunktes. Augenbewegungen unterstützen sowohl die Genauigkeit der absoluten Tiefenwahrnehmung wie die der relativen Tiefenwahrnehmung (diese wenigstens für größere Distanzunterschiede); wie weit hierbei die Augenbewegungen, besonders die Konvergenzänderungen, als solche die Tiefenwahrnehmung beeinflussen, und wie weit die mit der Konvergenzänderung verbundenen Änderungen der Querdisparation der gesehenen Punkte dabei eine Rolle spielen, ist noch eine theoretische Streitfrage.

2. Die Wirkungsweise des Augenbewegungsapparates.

Die Augenbewegungen sind teils willkürlich, teils werden sie reflektorisch ausgelöst.

Sämtliche willkürlichen Augenbewegungen folgen zwei Arten

von Bewegungsimpulsen: Impulsen für gleichsinnige Bewegungen beider Blicklinien, und Impulsen für symmetrisch gegensinnige Bewegungen beider Blicklinien; dabei entspricht bestimmten Stellungen der beiden Blicklinien stets eine bestimmte Orientierung der Netzhaut, d. h. eine bestimmte Stellung der Hauptmeridiane beider Augen, die nur kleinen, durch gewisse Bedingungen reflektorisch ausgelösten Schwankungen unterworfen ist (vgl. unten).

Die gleichsinnigen Bewegungen bestehen in Bewegungen beider Blicklinien von irgend einer Stellung aus nach rechts oder links, nach oben oder unten, oder nach einer aus einer Seiten- und einer Höhenwendung kombinierten Richtung. Die symmetrisch gegensinnigen Bewegungen sind Konvergenz- und Divergenzbewegungen.

Dieselben Bewegungen können auch reflektorisch ausgelöst werden, besonders z. B. bei Bewegungen des Kopfes und des Körpers, wenn dabei ein Gegenstand dauernd fixiert wird (die Kopfbewegungen können auch passiv sein). Außerdem können im Interesse des Binokularsehens bei allen Augenstellungen noch gewisse andere Bewegungen reflektorisch ausgelöst werden, die sich aber innerhalb ziemlich enger Grenzen halten: Gleichsinnige Rollungen um die Blicklinie als Achse, gegensinnige Rollungen (Neigung der vertikalen Meridiane beider Augen mit dem oberen Ende nasen- oder schläfenwärts von der gegebenen Stellung aus), endlich gegensinnige Vertikalbewegungen (Bewegung der einen Blicklinie nach oben, der anderen nach unten). Im allgemeinen werden nur die Leistungen der willkürlichen Bewegungen geprüft.

Im folgenden verstehen wir unter gleichsinnigen und gegensinnigen Bewegungen nur die willkürlich ausführbaren Bewegungen, soweit nichts Besonderes gesagt ist

Die Mechanik der Augenbewegungen ist ungemein kompliziert. Für unsere Zwecke genügen aber verhältnismäßig einfache Vorstellungen. Machen wir uns zunächst eine Vorstellung von den Augenbewegungen, die von der „normalen Ruhelage“ der Augen ausgehen. Als **normale Ruhelage** betrachten wir die parallele und geradeaus (parallel der Medianebene des Kopfes) gerichtete Stellung beider Blicklinien bei aufrechter Kopfhaltung.

Wir können diese „normale Ruhelage“ und die sogenannte „Primärstellung“ der Augen als gleichbedeutend ansehen, das ist die Stellung, von der aus die Augenbewegungen entsprechend dem Listingschen Gesetz erfolgen (s. unter c); streng genommen sind

aber die beiden Begriffe nicht identisch. Alle anderen Augenstellungen nennen wir Sekundärstellungen.

a) Gleichsinnige reine Seitenwendungen nach rechts oder nach links. Diese geschehen um eine vertikale Achse; der vertikale Hornhautmeridian bleibt dabei vertikal. Der rechte Musc. rect. lateral. und der linke Musc. rect. medial. bewirken durch gleich starke Kontraktion eine gleich starke Drehung beider Augen nach rechts, der linke Rect. lat. und der rechte Rect. med. ebenso eine gleich starke Drehung nach links.

b) Reine Vertikalbewegungen, d. h. Hebungs- und Senkungsbewegungen der binokularen Blicklinie um die Grundlinie als transversale Achse.

Die Hebung geschieht durch die „Heber“: Rect. super. und Obliq. infer. beider Augen; die Senkung durch die Senker: Rect. inf. und Obliq. sup.

Der Rect. sup. eines Auges würde für sich allein außer der Hebung noch eine leichte Adduktion und eine Einwärtsneigung des vertikalen Meridians bewirken; diese „Nebenwirkungen“ werden durch antagonistische Nebenwirkungen des Obliq. inf. aufgehoben, der für sich allein eine Abduktion des Auges und eine Auswärtsneigung des vertikalen Meridians bewirken würde.

Ganz entsprechend würde der Rect. inf. für sich allein neben der Senkung noch Adduktion und Auswärtsneigung des vertikalen Meridians bewirken, der Obliq. super. Abduktion und Einwärtsneigung. Auch hier heben sich die Nebenwirkungen beider Senker gegenseitig auf.

Über die gedachte Wirkung der einzelnen Muskeln vgl. S. 269.

c) Kombinierte gleichsinnige Bewegungen: Bewegungen, die aus einer Seiten- und einer Höhenwendung zusammengesetzt sind. Diese Bewegungen geschehen durch einfache Drehung des Auges um eine Achse, die auf der Anfangs- und der Endstellung der Blicklinie (jedes Auges) senkrecht steht (Listings Gesetz). Es erfolgt also bei dieser Bewegung keine gleichzeitige „Rollung“ des Augapfels um die Blicklinie, wohl aber eine Meridianneigung: z. B. bei Bewegung der Blicklinie nach rechts oben entsteht für beide Augen eine Neigung des vertikalen Meridians mit dem oberen Ende nach rechts, bei Bewegung nach rechts unten eine Meridianneigung nach links. (Nur bei Zerlegung dieser Bewegungen in gewisse nacheinander wirkende Komponenten kommt eine „Rollungswirkung“ heraus; auf diese etwas schwierigen

Verhältnisse, die erst von MEINONG klar präzisiert wurden, können wir hier nicht eingehen). Das LISTINGsche Gesetz gilt aber nur für gleichsinnige Bewegungen mit parallelen Blicklinien, nicht bei Kombination mit Konvergenz.

Es ist anzunehmen, daß die Innervationsimpulse für die beiden Heber (Senker) bei gleich großen Hebungen (Senkungen) stets die gleichen sind, gleichgültig, ob zugleich eine Rechts- oder Linkswendung der Augen damit verbunden ist; die Summe der Hebungs- (Senkungs-) Komponenten beider Muskelwirkungen bleibt dieselbe: Bei Blick nach rechts oben z. B. nimmt für das in Abduktionsstellung befindliche rechte Auge die Höhenwirkung des Rect. sup. zu, die des Obl. inf. ab (für das linke, in Adduktionsstellung befindliche Auge nimmt umgekehrt die Höhenwirkung des Obl. inf. zu, die des Rect. sup. ab); was aber der Rect. sup. an Höhenwirkung gewinnt, verliert er an einwärtsneigender (und an adduzierender) Wirkung; der Obl. inf. dagegen verliert an Höhenwirkung und gewinnt an auswärtsneigender (und an abduzierender) Wirkung. Durch dieses Verhältnis der beiden Heber zu einander ist die Auswärtsneigung des Vertikalmeridians bei Blick nach rechts oben ohne weiteres gegeben.

d) Gegensinnige Bewegungen. Von der normalen Ruhelage aus sind Konvergenzbewegungen bis zu dem relativen Blicknahpunkt in der horizontalen Blickebene möglich, ferner auch geringe Divergenzbewegungen bei Vorsetzung abduzierender Prismen (s. S. 117) oder bei Prüfung mit Haploskop. Den der maximalen Divergenz der Blicklinien entsprechenden (also bei absoluter Divergenz hinter den Augen gelegenen) Schnittpunkt der Blicklinien nennen wir den absoluten Divergenzfernpunkt. Normalerweise werden gewöhnlich noch Prismen von 6—8° überwunden (= Divergenzwinkel von 3—4°).

Da die gegensinnigen Bewegungen der binokularen Einstellung auf verschiedene Entfernungen dienen und dabei mit einem bestimmten Akkommodationszustand verknüpft sind, bezeichnet man sie auch als „akkommodative Augenbewegungen".

Die gegensinnigen Bewegungen können sich mit jeder gleichsinnigen Bewegung kombinieren; den gleichsinnigen Bewegungen entspricht eine gleichsinnige Bewegung der binokularen Blicklinie, die gegensinnigen Bewegungen lassen den binokularen Blickpunkt auf der binokularen Blicklinie wandern.

Die Konvergenz ist nicht bei horizontaler Blickebene am

größten, sondern, wie schon oben erwähnt, bei gesenkter. Auch das Verhalten der Konvergenz bei verschiedenen anderen Lagen der binokularen Blicklinie ist dort schon angeführt.

3. Abhängigkeitsbedingungen der Leistungen des Bewegungsapparates.

Form und Ausdehnung des binokularen Blickraumes hängen von der Ruhelage der Augen, den Bewegungskräften der Muskel, und den mechanischen Bewegungswiderständen ab.

Die Ausnützung des binokularen Sehens ist bei normalem binokularen Blickraum am vollkommensten, wenn in einem möglichst großen Teil desselben zugleich deutlich gesehen wird, also die binokulare Blickeinstellung gleichzeitig mit genauer optischer Einstellung verbunden ist. In welchem Umfang dies möglich ist, hängt außer von den Bedingungen für Form und Ausdehnung des binokularen Blickraumes noch von dem Zusammenwirken der akkommodativen Augenbewegungen mit der Akkommodation, also von der Refraktion (Ruhelage der Akkommodation) und dem Akkommodationsvermögen ab.

Die Abhängigkeit des Akkommodations-Konvergenzverhältnisses von der Refraktion und Akkommodation und die durch Anomalien der Refraktion und Akkommodation bedingten Störungen dieses Verhältnisses haben wir schon für sich besprochen (s. S. 118 ff.).

Den Teil des binokularen Blickraumes, innerhalb dessen zugleich genaue optische Einstellung (mindestens eines Auges) möglich ist — also binokular und scharf gesehen wird — wollen wir binokularen Scharfblickraum nennen.

B. Störungen der Bewegungsleistungen.

I. Reine Stellungsanomalien der Augen.

Die Ruhelage beider Augen ist von verschiedenen mechanischen Bedingungen abhängig: von den anatomischen Verhältnissen der Augenmuskel und des Augapfels, der beiden Augenhöhlen und der Distanz dieser voneinander. Wir betrachten die Verhältnisse dieser Faktoren zu einander als normal, wenn die Ruhelage der Augen normal ist (die Prüfung der Ruhelage s. u.). Eine Störung des normalen Verhältnisses dieser einzelnen Faktoren zu einander ist also gleichbedeutend mit einer Stellungsanomalie der Augen (Kunn). Welcher oder welche von jenen Faktoren im Einzelfall in

erster Linie maßgebend sind, läßt sich meist nicht bestimmt entscheiden. Die Beweglichkeit der Augen ist dabei nicht gestört.

Wir können drei Arten von Stellungsanomalien, also dreierlei Abweichungen von der normalen Ruhelage unterscheiden:

Gegensinnig symmetrische Abweichungen sowie gegensinnige Höhenabweichungen beider Blicklinien und gegensinnige Rollungsabweichungen der Augäpfel.

1. Gegensinnig symmetrische Stellungsanomalien: Horizontales Begleitungsschielen.

Gegensinnig symmetrische Stellungsanomalien sind dadurch charakterisiert, daß bei Ruhelage der beiden Augen die Blicklinien konvergieren oder divergieren. Das Bewegungsgebiet beider Augen ist dadurch verlagert (Kunn). Entweder ist dann überhaupt kein binokularer Blickraum vorhanden, oder der binokulare Blickraum ist der Tiefe nach verschoben.

a) Fehlen des binokularen Blickraums: Dauerndes manifestes Schielen.

Ist überhaupt kein binokularer Blickraum vorhanden, liegt dauerndes Begleitungs-Schielen vor (Strabismus concomitans permanens), und zwar Einwärtsschielen — Strabismus convergens — bei Konvergenz der Blicklinien, Auswärtsschielen — Strabismus divergens — bei Divergenz der Blicklinien. Das Schielen kann nicht — wenigstens nicht ohne künstliche Hilfsmittel — durch das Fusionsvermögen beseitigt werden. Beim dauernden Schielen handelt es sich also um eine nicht kompensierbare Stellungsanomalie. Es wird stets nur mit einem Auge fixiert, die Blicklinie des anderen Auges geht nasen- oder schläfenwärts am Fixierpunkt vorbei. In den meisten Fällen fixiert stets dasselbe Auge, zuweilen aber übernimmt bald das eine, bald das andere Auge die Fixation, je nachdem der zu fixierende Gegenstand näher dem Zentrum des Bewegungsgebietes (Blickfeldes) des einen oder des anderen Auges liegt; es liegt abwechselndes Schielen — Strabismus alternans — vor.

Gewöhnlich wird beim Schielen der Kopf etwas schief gehalten, so daß die Stellung des fixierenden Auges (und damit auch die des schielenden Auges) ungefähr der Ruhelage entspricht; die Augenmuskel ermüden leichter als die Hals- und Nackenmuskeln.

Das schielende Auge beteiligt sich am Sehen meist nur mit dem temporalen Gesichtsfeldteil, der das Gesichtsfeld des fixierenden Auges zu dem binokularen (summarischen) Gesichtsfeld ergänzt.

Auffallende Lichteindrücke (besonders von bewegten Gegenständen) in diesem Gesichtsfeldteil lösen eine Blickbewegung nach dieser Seite aus, so daß das andere Auge den Gegenstand fixieren kann. Zuweilen besteht aber ein, wenn auch unvollkommenes, zweiäugiges Sehen, indem sich eine anomale Korrespondenz der Netzhäute entwickelt: Die exzentrische Netzhautstelle des Schielauges, auf die das Bild des vom anderen Auge fixierten Punktes fällt, hat den gleichen Sehrichtungswert wie die Fovea des fixierenden Auges, es bildet sich sozusagen eine Ersatzgesichtslinie, welche die richtige Gesichtslinie des Schielauges vertritt, und deren Sehrichtungswert mit dem der normalen Gesichtslinie des anderen Auges in eine binokulare Ersatzblicklinie zusammenfällt. Die wirkliche Gesichtslinie des Schielauges korrespondiert dabei mit der Richtungslinie einer entsprechend gelegenen exzentrischen Stelle des fixierenden Auges. Es besteht dann für die ganze Netzhaut des Schielauges eine gewisse Korrespondenz zu der Netzhaut des fixierenden Auges, wie sie einem „Doppelauge" entsprechen würde, in welchem die „Ersatzfovea" des Schielauges auf die wirkliche Fovea des fixierenden Auges fällt. Es kann so selbst zu einer binokularen Tiefenwahrnehmung kommen, die der Querdisparation relativ zu dieser abnormen Korrespondenz entspricht. Dies kommt am ehesten bei alternierendem Schielen vor. (Vgl. auch Prüfung der Bewegungsleistungen S. 291.)

In diesem Fall hat jedes Auge eine normale und eine Ersatzgesichtslinie; es sind dann auch zwei „binokulare Ersatzblicklinien" vorhanden, indem bei fixierendem linken Auge die normale Gesichtslinie dieses Auges mit der Ersatzgesichtslinie des anderen eine gemeinsame Sehrichtung hat, und ebenso bei fixierendem rechten Auge eine gemeinsame Sehrichtung für die Gesichtslinie dieses und die Ersatzgesichtslinie des anderen Auges besteht. Die Sehrichtung der beiden binokularen Ersatzblicklinien ist aber ebenfalls im wesentlichen dieselbe (sie können einander vertreten), da die Lokalisation beim Fixieren mit dem linken wie mit dem rechten Auge im wesentlichen dieselbe ist.

Bei permanentem Schielen liegt als Grundbedingung stets eine Stellungsanomalie beider Augen vor. Der Grad des Schielens wird aber beim fixierenden Sehen auch von der Inanspruchnahme der Akkommodation beeinflußt. Wir haben schon oben (S. 123) gesehen, daß H das Einwärtsschielen, M das Auswärtsschielen begünstigt. Im gleichen Sinn wie H wirkt

Akkommodationslähmung, im gleichen Sinn wie M wirkt Akkommodationskrampf (auch medikamentösen Ursprungs), doch kommen diese Faktoren im allgemeinen nur vorübergehend in Betracht. Auch bei diesen Akkommodationsstörungen handelt es sich im einen Fall um eine erhöhte, im anderen um eine verminderte Inanspruchnahme des Akkommodationsimpulses. Wir können die Einflüsse der Refraktion und Akkommodation als abnorme Inanspruchnahme der Akkommodation zusammenfassen.

In manchen Fällen kann durch Korrektion einer H oder M die Schielstellung soweit gebessert werden, daß, wenigstens innerhalb eines gewissen Gebietes, mittels des Fusionsvermögens binokulares Deutlichsehen möglich ist, also ein binokularer Scharfblickraum besteht. In diesen Fällen ist wohl gewöhnlich auch ohne Korrektion binokulare Blickeinstellung möglich, aber ohne daß dabei deutlich gesehen wird; da indeß das Interesse am Deutlichsehen meist größer ist, als das Interesse an binokularer Einstellung, so wird dauerndes Schielen vorgezogen, so lange nicht durch Korrektion der Ametropie binokulares Deutlichsehen ermöglicht wird.

b) Verschiebung des binokularen Blickraums: Latentes und fakultatives Stellungsschielen.

Sehr oft ist trotz abnormer Ruhelage der Augen ein binokularer Blickraum vorhanden, dieser ist aber der Tiefe nach verschoben; bei Konvergenzruhelage ist er den Augen angenähert, bei Divergenzruhelage weiter abgerückt.

α) Konvergenzruhelage mit binokularem Blickraum.

Liegt Konvergenzruhelage vor, und ist eben noch parallele Stellung der Blicklinien erreichbar (mittels genügender Fusionsbreite), so kann der ganze binokulare Blickraum vergrößert erscheinen, da die ganze Fusionsbreite vom absoluten Divergenzfernpunkt bis zum absoluten — hier (bei Ausschluß einer Komplikation) näher als normal gelegenen — Konvergenznahpunkt praktisch ausgenützt werden kann. Es tritt dann gewöhnlich überhaupt kein manifestes Schielen auf, im ganzen Fusionsgebiet besteht **latentes Einwärtsschielen**, dieses wird nur bei künstlicher (oder durch eine Erkrankung herbeigeführter) Aufhebung des Binokularsehens manifest.

Latentes Schielen kann sowohl durch eine Stellungsanomalie, sowie durch abnorme Inanspruchnahme der Akkommodation oder durch beide Faktoren zusammen bedingt werden, wir haben diese

Verhältnisse im wesentlichen schon bei der Akkommodation erörtert (s. S. 132). In allen diesen Fällen kann es infolge der damit verbundenen Störung des Akkommodations-Konvergenzverhältnisses zu Ermüdungserscheinungen kommen. Wir nehmen das Vorhandensein einer Stellungsanomalie an, wenn auch nach Ausgleich einer Ametropie und Ausschluß einer Akkommodationsstörung noch latentes Schielen bestehen bleibt.

Zur Vermeidung von Ermüdungserscheinungen oder im Interesse des Deutlichsehens wird in manchen Fällen für gewisse Distanzen, auch wenn Binokularsehen an sich noch möglich wäre, regelmäßig oder wenigstens zeitweise geschielt, wir sprechen im letzteren Fall von **fakultativem** oder **periodischem** Schielen.

Ist parallele Blickstellung überhaupt nicht erreichbar, so besteht für die Ferne permanentes Schielen, das ganze Fusionsgebiet ist hereingerückt. Innerhalb des Fusionsgebietes kann das Schielen ganz latent bleiben — was selten ist — oder periodisch sein.

Bei allen diesen Fällen von Konvergenzruhelage, wo noch ein binokularer Blickraum vorhanden ist, kann das Schielen meist durch optische Hilfsmittel (Konvexgläser oder Adduktionsprismen oder Kombination solcher Gläser), eventuell auch durch Eserin oder Pilokarpin (verminderte Inanspruchnahme des Akkommodationsimpulses) dauernd oder zeitweilig beseitigt werden; zeitweilige, öfters wiederholte Beseitigung des Konvergenzschielens durch Pilokarpin kann bei Kindern zur Erhaltung des Fusionsvermögens gute Dienste leisten, bis eine Brille getragen werden kann.

β) Divergenzruhelage mit binokularem Blickraum.

Bei Divergenzruhelage ist der ganze binokulare Blickraum von den Augen abgerückt; entsprechend der Größe des Divergenzwinkels ist ein mehr oder minder großer Teil des binokularen Blickraums negativ, also praktisch nicht verwertbar. Diesseits des abnorm fernen Konvergenznahpunktes ist stets manifestes Auswärtsschielen vorhanden; in dem positiven Teil des binokularen Blickraumes kann **latentes** oder **fakultatives Auswärtsschielen** vorhanden sein, je nachdem durch das Fusionsvermögen die Stellungsanomalie dauernd oder zeitweise kompensiert werden kann, ganz analog dem latenten und fakultativen Einwärtsschielen (s. oben). Was über den steigernden oder abschwächenden Einfluß der Inanspruchnahme der Akkommodation bei Konvergenzruhelage gesagt ist, gilt in entsprechend um-

gekehrtem Sinn auch für die Divergenzruhelage: Konkavgläser und Abduktionsprismen verringern resp. kompensieren das Auswärtsschielen.

2. Gegensinnige Höhenabweichungen der Blicklinien: Vertikales Schielen.

Zuweilen haben bei Ruhelage der Augen die Blicklinien verschiedene Höhenrichtung: Abwärtsschielen (Strabismus deorsum vergens, Hypophorie) des einen oder Aufwärtsschielen (Strabismus sursum vergens, Hyperphorie) des anderen Auges. Auch hier handelt es sich wohl in der Regel nicht um Abweichung eines Auges, sondern um eine gegensinnige Höhenabweichung beider Blicklinien von der symmetrischen Ruhelage, man bezeichnet aber die Abweichung gewöhnlich nach der Stellung des bei (eventuell künstlicher) Aufhebung des Binokularsehens abweichenden Auges.

Manifestes Auf- oder Abwärtsschielen durch reine Höhenabweichung der Blicklinie ist selten, gewöhnlich ist dann auch horizontales Schielen damit verbunden.

Latente Höhenabweichungen bis 2 oder 3° Prisma sind nicht selten, sie werden meist ohne Beschwerden durch die (nur unwillkürlich wirkende) Vertikalfusion überwunden; indeß können auch, besonders bei Abweichungen von mehr als 3° Prisma, asthenopische Beschwerden dadurch entstehen. Latente Abweichungen von mehr als 5—6° Prisma kommen kaum vor. Bei asthenopischen Beschwerden werden für beide Augen ausgleichende (oder nahezu ausgleichende) Prismen verordnet, Kante nach oben vor dem hyperphorischen, nach unten vor dem hypophorischen Auge.

Höhenabweichungen der Ruhelage sind zuweilen mit verschiedener Höhenlage der Augen selbst (und der Orbitae) verbunden, die an und für sich bei Ferneinstellung keinen wesentlichen Einfluß auf die Lage der Blicklinie hat, aber bei Naheeinstellung zu einer Abweichung der einen Blicklinie im Sinne der Höhenabweichung des Augapfels disponiert. Unter Umständen werden dadurch asthenopische Beschwerden beim Nahsehen bedingt.

Durch Höhenabweichungen der Blicklinien wird bei gleichzeitiger anderweiter Stellungsanomalie das Auftreten von Ermüdungserscheinungen und manifestem Horizontalschielen begünstigt.

3. Rollungsabweichungen der Augen: Latente Rollung.

Normalerweise sind bei Ruhelage der Augen die „vertikalen“ Netzhautmeridiane nicht genau vertikal, sie divergieren etwas nach oben, während die „Horizontalmeridiane“ wirklich horizontal liegen. Als vertikale Meridiane oder als vertikale Trennungslinien der Netzhaut bezeichnen wir die korrespondierenden Meridiane, in denen sich bei normaler Ruhelage eine vertikal erscheinende ferne gerade Linie abbildet (dies trifft streng genommen meist nicht für eine wirklich vertikale, sondern für eine in der Medianebene leicht nach hinten geneigte Linie zu). Die Horizontalmeridiane oder horizontalen Trennungslinien der Netzhaut sind die korrespondierenden Meridiane, in die bei normaler Ruhelage das Bild einer fernen, in der Blickebene gelegenen querhorizontalen Linie fällt. Bei normaler Ruhelage liegen also die Horizontalmeridiane beide in der horizontalen Blickebene, die Vertikalmeridiane sind einander nicht genau parallel, sondern divergieren etwas nach oben.

Bei aufgehobenem Binokularsehen können die Augen eine kleine Einwärts- oder Auswärtsrollung um die Blicklinie machen, so daß die Horizontalmeridiane der Augen symmetrisch auswärts oder einwärts geneigt sind, ihre Ebenen schneiden sich in einer Linie oberhalb oder unterhalb der horizontalen Blickebene. Die Vertikalmeridiane sind dann mit ihrem oberen Ende von ihrer Normalstellung aus nach außen oder nach innen geneigt; im letzten Fall können sie parallel oder auch nach oben konvergent werden. Wir bezeichnen dementsprechend eine Rollungsabweichung als Auswärtsrollung oder Einwärtsrollung, je nachdem die physiologische Divergenz der Vertikalmeridiane abnorm gesteigert oder abnorm verringert ist. Wegen der Inkonstanz der vertikalen Meridiane und der größeren Genauigkeit der Lagebestimmung der Horizontalmeridiane geschieht die Messung einer Rollungsabweichung aber besser durch Bestimmung der Lage der Horizontalmeridiane (s. unten). Die Ebenen derselben bilden miteinander bei Auswärtsrollung ein Dach, bei Einwärtsrollung eine Rinne.

Wir sprechen bei Ruhelage mit Rollungsabweichung von latenter Rollung. Eine Störung der binokularen Einstellung wird im allgemeinen dadurch nicht bedingt, doch können wohl gelegentlich bei gewissen Augenstellungen Ermüdungserscheinungen auftreten. Ich habe bis jetzt trotz besonderen Achtens auf diese Anomalie nur

einen Fall beobachtet, bei dem asthenopische Beschwerden genügend sicher auf latente Rollung, und zwar Einwärtsrollung, zurückzuführen waren.

Vielleicht ist auch die Neigung zu Schwindel beim Blick in große Tiefen gelegentlich durch latente Rollung bedingt.

Man hat die latente Auswärtsrollung auch als „Insuffizienz der Obliqui superiores" bezeichnet (Stevens, Savage), die latente Einwärtsrollung als „Insuffizienz der Obliqui inferiores". Da bei Primärstellung die Obliqui eine stärkere Rollungskomponente haben als die Recti sup. und inf., so ist eine „Insuffizienz der Rollung", wie wir allgemeiner sagen können, zwar eher wohl auf ein dynamisches Mißverhältnis der schrägen, als auf ein solches der geraden Heber und Senker zurückzuführen, aber die letztere Möglichkeit ist auch nicht ohne weiteres auszuschließen (s. auch S. 292, Prüfung der Bewegungsleistungen).

Die klinische Bedeutung der latenten Rollung wird vielleicht in der deutschen Literatur etwas unterschätzt, in der englisch-amerikanischen etwas überschätzt.

II. Störungen der Beweglichkeit der Augen.

Die Ausgiebigkeit der Bewegungen, d. h. die Beweglichkeit, kann in geringem Grad durch rein dynamische Verhältnisse, durch ein Mißverhältnis zwischen antagonistischen Muskeln oder durch allgemeine Schwäche aller Augenmuskel verringert sein. Wir bezeichnen solche Störungen als rein dynamische Beweglichkeitsstörungen.

Stärkere Beweglichkeitsstörungen mit anderem Charakter werden durch krankhafte Zustände in irgend einem Teil des Bewegungsapparates bewirkt, wir wollen sie kurz als krankhafte Beweglichkeitsstörungen bezeichnen.

(Dynamische Störungen können natürlich indirekt auch durch krankhafte Zustände des Körpers überhaupt bedingt sein, als Folge allgemeiner Schwächezustände, aber es liegt keine direkte Erkrankung des Bewegungsapparates der Augen selbst vor.)

1. *Rein dynamische Beweglichkeitsstörungen.*

Durch rein dynamische Störungen werden die gleichsinnigen Augenbewegungen im allgemeinen nicht merklich beeinflußt, dagegen können die akkommodativen Bewegungen, und damit die Tiefenausdehnung des binokularen Blickraumes, eine gewisse Beschränkung erleiden. Oft ist zugleich eine Stellungsanomalie damit verbunden,

deren Hauptursache eine dynamische Störung sein kann; die Erscheinungen der Stellungsanomalie (s. oben) kombinieren sich dann mit solchen der dynamischen Störungen.

Bei dynamischen Störungen ist die absolute Fusionsbreite etwas verringert; der Konvergenznahpunkt kann etwas abgerückt, oder der Divergenzfernpunkt kann etwas angenähert sein. Im ersten Fall sprechen wir von einer Insuffizienz der Konvergenz (oder Insuffizienz der Recti interni) oder von Konvergenzschwäche), im zweiten von einer Insuffizienz der Divergenz (oder Insuffizienz der Recti externi) oder von Divergenzschwäche. Es kann hierbei in derselben Weise zu Ermüdungserscheinungen kommen, wie bei den eben noch kompensierbaren Stellungsanomalien (s. oben). Die Einschränkung des binokularen Blickraumes ist dabei mit keiner wesentlichen Störung der absoluten Tiefenwahrnehmung verbunden (im Gegensatz zu den krankhaften Störungen der akkommodativen Bewegungen).

a) Konvergenzschwäche.

Konvergenzschwäche ist verhältnismäßig häufig. Sie hat das Abrücken des Konvergenznahpunktes mit der Divergenzruhestellung gemein, außerdem aber charakterisiert sie sich dadurch, daß bei Akkommodation latente Divergenz auftritt, die sich mit zunehmender Akkommodation bis zu einem gewissen Grad steigert. Für 30 cm Abstand ist eine l D von 8° Prisma und mehr (resp. eine Steigerung der l D um diesen Betrag, wenn von Haus aus Divergenzruhelage vorliegt), als unternormal anzusehen. Ferner muß das Verhalten der relativen Fusionsbreite in dem Sinn verändert sein, daß die r K gegenüber der r D verhältnismäßig gering ist, aber ohne wesentliche Änderung dieses Verhältnisses innerhalb des Akkommodationsgebietes (im Gegensatz zur Konvergenzlähmung s. S. 256). Genauere Untersuchungen hierüber fehlen indes noch.

b) Divergenzschwäche.

Divergenzschwäche dürfte stets zugleich mit Konvergenzruhelage verbunden sein (umgekehrt muß aber bei „dynamischem Einwärtsschielen“ nicht zugleich Divergenzschwäche vorliegen); der Divergenzfernpunkt ist dann hereingerückt; im manifesten Akkommodationsgebiet ist die r D verhältnismäßig gering im Vergleich mit der r K, aber ohne wesentliche Steigerung dieses Mißverhältnisses in der Nähe des Fernpunktes. Dementsprechend liegt auch im Akkommodations-

gebiet l K vor, die bei Fernpunktsstellung etwas deutlicher ausgesprochen ist, als bei Akkommodation.

Auch bei normaler Ruhelage kann ein geringer Grad von Divergenzschwäche vorliegen, nämlich wenn gar keine abduzierende Prismen überwunden werden und die r F in dem angeführten Sinn verschoben ist. Beschwerden treten aber bei so geringen Graden im allgemeinen nicht auf. Da sich indes bei Senkung der Blickebene eine Divergenzschwäche stärker geltend macht (weil Blicksenkung stets physiologisch mit einer gewissen Konvergenzzunahme verbunden ist), kann vielleicht eine, wenn auch geringe Divergenzschwäche die Neigung zu Schwindel beim Blick von steilen Höhen begünstigen, wie wir es auch für die latente Rollung vermutet haben.

c) Allgemeine Muskelschwäche.

Bei allgemeiner Muskelschwäche oder, was klinisch gleichbedeutend ist, Kombination von Konvergenz- und Divergenzschwäche, ist die Fusionsbreite von beiden Seiten her eingeschränkt, ebenso muß die r F im manifesten Akkommodationsgebiet verhältnismäßig gering sein, aber ohne erhebliche Änderung des Verhältnisses zwischen r D und r K, nur daß wohl nach dem Nahpunkt zu die r K, nach dem Fernpunkt zu die r D etwas abnehmen dürfte; ebenso kann bei optischer Naheeinstellung eine geringe l D, bei Ferneinstellung geringe l K vorliegen.

2. Krankhafte Störungen der Beweglichkeit.

Durch krankhafte Zustände im Bewegungsapparat wird die Ausgiebigkeit bestimmter Augenbewegungen, die Beweglichkeit, wesentlich eingeschränkt. Je nach dem Sitz der Störung handelt es sich lediglich um Störungen bestimmter konjugierter Bewegungen, oder um Störungen der absoluten Leistungen einzelner Muskeln oder Muskelgruppen eines oder beider Augen.

𝔄) Reine Störungen der konjugierten Bewegungen („konjugierte Bewegungsstörungen“.)

Konjugierte Störungen sind Störungen, welche nur die akkommodativen oder die gleichsinnigen Augenbewegungen als solche betreffen; die durch Lähmung bedingten Störungen dieser Art bezeichnet man auch als Blicklähmungen.

a) Konjugierte Störungen der akkommodativen Bewegungen.

Die Konvergenzbewegung kann sowohl durch Krampf wie durch Lähmung gestört werden; die Divergenz kann wahrscheinlich ebenfalls einer Lähmung unterliegen, eine krampfhafte Divergenzstellung ist dagegen bis jetzt nicht bekannt.

α) Konvergenzlähmung.

Eine Konvergenzlähmung kann organisch bedingt oder hysterisch sein.

Wir besprechen zuerst die organisch bedingte Lähmung. Eine solche hat, wenn sie vollständig ist, Ausfall jeder Konvergenzbewegung zur Folge; einem von der Ferne angenäherten Fixierobjekt folgt nur das eine Auge, während das andere eine der Einwärtsbewegung des fixierenden Auges entsprechende Auswärtsbewegung macht, das fixierende Auge folgt dem Objekt nur mittels eines gleichsinnigen Bewegungsimpulses für beide Augen, da die Einwärtsstellung (Adduktion) jedes Auges bei gleichsinniger Bewegung beider Augen erhalten ist. Das nicht fixierende Auge schielt also für jeden endlichen Objektsabstand. Bei Ferneinstellung kann möglicherweise binokular fixiert werden, es kann aber auch für die Ferne Divergenzschielen vorliegen; ferner besteht für alle Distanzen, auf die nicht mehr binokular eingestellt werden kann, „gekreuztes Doppeltsehen", d. h. das vom rechten Auge gesehene Bild wird zu weit nach links, das vom linken gesehene zu weit nach rechts lokalisiert (gleichgiltig, welches Auge das fixierende ist).

Ist die Lähmung unvollständig, so kann ein gewisser binokularer Blickraum vorhanden sein, der aber entsprechend dem Hinausrücken des Konvergenznahpunktes der Tiefe nach sehr eingeschränkt ist; diesseits des Konvergenznahpunktes besteht Divergenzschielen mit gekreuzten Doppelbildern in derselben Weise wie bei vollständiger Lähmung. Im binokularen Blickraum selbst ist die absolute Tiefenwahrnehmung gestört, indem das Fixierobjekt zu nahe erscheint; die falsche Entfernungsschätzung nimmt mit der Annäherung des Objekts an den Konvergenznahpunkt zu. Ferner ist im binokularen Blickraum eine mit der Naheeinstellung erheblich wachsende lD vorhanden. Die relative Fusionsbreite ist gegen die Akkommodation so verschoben, daß schon bei Fernpunktseinstellung keine oder höchstens eine minimale rK vorhanden sein kann, während der Konvergenznahpunkt nur mittels erhöhter Akkommo-

dation erreicht wird (ein bis zum Konvergenznahpunkt herangeführtes Objekt wird nur mit Konkavgläsern deutlich gesehen). Die r D nimmt also mit der Akkommodation erheblich zu, die r K erheblich ab, so daß diese bald negativ wird (bei graphischer Darstellung nach dem Diagramm in Fig. 42 S. 112 schneidet die Linie der relativen Konvergenzpunkte die Diagonale, indem ihr dem absoluten Konvergenznahpunkt entsprechender Anfangspunkt oberhalb der Diagonale liegt; der relative Konvergenznahpunkt bei Ferneinstellung liegt entweder etwas unterhalb oder selbst auf der Diagonale).

Die mit der Akkommodation erheblich zunehmende l D und die starke Verschiebung der relativen Fusionsbreite unterscheiden die Konvergenzlähmung von der dynamischen Konvergenzschwäche (s. oben). Schon bei ganz geringer Konvergenzlähmung müssen sich diese Erscheinungen deutlich zeigen.

Die Akkommodation ist bei unkomplizierter organischer Konvergenzlähmung normal. Eine zufällige Komplikation mit Akkommodationslähmung würde das für die Konvergenzlähmung charakteristische Verhalten der l D und r F mehr oder weniger kompensieren, aber die Störung der absoluten Tiefenwahrnehmung würde bestehen bleiben, und bei Annäherung des Fixierobjekts würde — mindestens bei monokularem Sehen — Mikropsie eintreten (vgl. S. 259).

Von doppelseitiger Lähmung der Recti mediales unterscheidet sich die Konvergenzlähmung dadurch, daß bei Blickwendung nach rechts oder links die Adduktion des zur Bewegung gleichnamigen Auges nicht beschränkt ist und keine wesentliche Zunahme des Abstandes der Doppelbilder voneinander auftritt.

Organische Konvergenzlähmung ist durch einen Krankheitsherd in der Brücke bedingt, sei es durch Läsion eines hier gelegenen, aber noch hypothetischen Konvergenzzentrums, oder durch Läsion von Nervenfasern, die vom Großhirn zu den Kernen beider Recti mediales ziehen und sich vor Erreichung der Kerne kreuzen. Im letzteren Fall ist anzunehmen, daß jeder Rectus medialis Fasern von zwei verschiedenen Kerngruppen erhält, deren eine, zum Muskel gekreuzt liegende, der Innervation des Rect. med. für die Konvergenz, und deren andere, gleichseitige, der Innervation bei gleichsinnigen Augenbewegungen dient.

Konvergenzlähmungen können möglicherweise auch halbseitig sein, d. h. der Internus nur des einen Auges kontrahiert sich nicht (oder mangelhaft) bei Konvergenz, aber gut bei Seitenblickwendung (über mögliche Vortäuschung einer solchen Störung s. S. 289).

Die hysterische Konvergenzlähmung unterscheidet sich von der organisch bedingten dadurch, daß auch die Akkommodation ebenso oder annähernd ebenso beschränkt ist; es tritt überhaupt kein oder nur ein schwacher Naheinstellungsimpuls (für Konvergenz und Akkommodation) auf. Soweit überhaupt Naheinstellung stattfindet, ist keine wesentliche Verschiebung der r F vorhanden. Für Gegenstände diesseits des Konvergenznahpunktes besteht (bei monokularem Sehen) Makropsie im Gegensatz zur organischen Lähmung. Zuweilen ist die hysterische Konvergenzbeschränkung zugleich mit Divergenzbeschränkung verbunden, beide Blicklinien sind anhaltend auf einen bestimmten Abstand eingestellt (Fixationsstarre, vgl. S. 130), oder es finden nur ganz geringe Konvergenzänderungen statt. Hierbei ist für jenseits des Fusionsfernpunktes gelegene Gegenstände Mikropsie vorhanden.

β) Konvergenzkrampf.

Krampfhafte Konvergenzeinstellung kann ebenfalls organisch oder hysterisch bedingt sein.

Organischer Konvergenzkrampf ist in der Regel durch ein schweres Hirnleiden verursacht, vor allem durch Meningitis. Oft wird daher eine genaue Funktionsprüfung nicht ausführbar sein.

Es besteht meist starke Konvergenz mit Verengerung der Pupillen (spastische Miosis s. S. 220). Gleichnamige Doppelbilder, deren Abstand voneinander mit dem Abstand des Fixierobjekts zunimmt (zum Unterschied von begleitendem Konvergenzschielen), aber bei Seitwärtswendung des Blickes (für gleichen Objektsabstand) etwas abnimmt oder höchstens gleich bleibt, unterscheidet den Zustand von einer Lähmung beider Recti laterales. Bei monokularem Fixieren besteht Makropsie im Gegensatz zum hysterischen Konvergenzkrampf (s. unten). Gewöhnlich dürfte auch Akkommodationskrampf mit dem organischen Konvergenzkrampf verbunden sein, was zwar auch für den hysterischen Konvergenzkrampf zutrifft; aber die Feststellung eines gleichzeitigen Akkommodationskrampfes ist wichtig zur Unterscheidung beider Formen des Konvergenzkrampfes von Divergenzlähmung.

Der hysterische Konvergenzkrampf kann verschiedene Bilder zeigen. Oft tritt er nur beim Fixieren auf; zuweilen ist er dann nur beim monokularen Fixieren vorhanden, indem das verdeckte Auge nach innen geht und beim Freilassen sich wieder richtig einstellt. Die bei der monokularen Fixation den Konvergenzkrampf

begleitende Akkommodationssteigerung (wobei die Akkommodation auf einen näheren als den Fixierpunkt eingestellt ist) unterscheidet diese Form vom dynamischen Einwärtsschielen.

Hysterische Konvergenzstellung kommt auch vor, wenn beide Augen geöffnet sind; es kann vorübergehend selbst eine Lähmung eines oder beider Recti laterales vorgetäuscht werden, wenn sich die Konvergenz während der Prüfung gerade bei Seitwärtsführung des Fixierobjektes steigert (wie ich in einem Fall beobachtet habe); dieses Verhalten ist aber bei Wiederholung der Prüfung nicht konstant, es dürften sich stets bald Abweichungen von dem Verhalten der doppelseitigen Abduzenslähmung zeigen.

Die absolute und relative Fusionsbreite kann sich analog wie bei organischem Krampf und bei Divergenzlähmung verhalten, dürfte aber doch in der Regel bei eingehender Prüfung deutliche Abweichungen von dem für jene Störungen typischen Verhalten erkennen lassen. Am sichersten unterscheidet gewöhnlich der Befund einer gleichzeitigen Akkommodationssteigerung den hysterischen Konvergenzkrampf von einer Divergenzlähmung.

Das bei hysterischer Naheinstellung nicht seltene monokulare Doppelt- oder Mehrfachsehen (als Folge ungenauer optischer Einstellung) und Mikropsie für ferne Gegenstände[1] unterscheiden

[1] Mit jeder Änderung des Distanzeinstellungsimpulses (sowohl der Akkommodation wie der Blicklinien) ist eine Änderung des subjektiven Größenmaßstabes der Netzhaut verbunden, mittels dessen wir die fixierten Gegenstände nach ihrer absoluten Größe wahrnehmen; weiter entfernte Gegenstände erscheinen uns dabei zu klein, nähere zu groß (physiologische Mikropsie und Makropsie, M. Sachs). Fixieren wir nun mit einem zu starken Naheinstellungsimpuls, so erscheint uns auch der fixierte Gegenstand zu klein, gleichgültig ob der zu starke „Nahimpuls" durch Lähmung eines „Naheinstellungsfaktors" (Akkommodation oder Konvergenz) bedingt ist, die uns im Interesse des deutlichen Sehens oder des binokularen Einfachsehens (oder beider Leistungen) zu einer Steigerung des Akkommodations- oder des Konvergenzimpulses (oder beider) nötigt, oder ob wir willkürlich den Akkommodations- oder Konvergenzimpuls steigern (was monokular sehr leicht ausführbar ist). Da die hysterische Naheinstellung einem zu starken willkürlichen Naheinstellungsimpuls entspricht, so ist es leicht verständlich, daß hysterischer „Akkommodations- oder Konvergenzkrampf" ebenso zu Mikropsie für die fixierten Gegenstände führt, wie organische Akkommodations- oder Konvergenzlähmung.

Die analoge Betrachtung gilt in umgekehrter Richtung für die Makropsie bei organischem Akkommodations- oder Konvergenzkrampf und hysterischer „Akkommodations- oder Konvergenzlähmung". Die Ausdrücke Krampf

den hysterischen Konvergenzkrampf sowohl vom organisch bedingten wie von der Divergenzlähmung.

Auch bei Tetanie wurde Konvergenzkrampf beobachtet, wobei aber noch nicht bekannt ist, ob sein Verhalten der organisch bedingten oder der hysterischen Form entspricht.

γ) Divergenzlähmung.

Organisch bedingte Divergenzlähmung unterscheidet sich vom Konvergenzkrampf nur durch das Fehlen gleichzeitiger Akkommodationserhöhung; auch Miosis ist nicht damit verbunden, eine solche kann aber leicht zufällig gleichzeitig vorhanden sein. Im übrigen zeigt die Divergenzlähmung klinisch ganz die gleichen Erscheinungen wie der Konvergenzkrampf. Da es nicht unmöglich ist, daß organischer Konvergenzkrampf auch ohne gleichzeitige Akkommodationssteigerung und Miosis vorkommen kann, ist die Existenz einer Divergenzlähmung überhaupt noch nicht sicher bewiesen und auch sehr schwer beweisbar. Dazu kommt noch, daß die Erscheinungen einer Divergenzlähmung auch durch unvollständiges Zurückgehen einer Kombination von assoziierter Lähmung der Links- und der Rechtswendung bewirkt werden können (Uhthoff). Der Ort der Erkrankung bei organischer Divergenzlähmung wird in der Brücke in der Nähe beider Abduzenskerne gesucht, sei es in einem besonderen Divergenzzentrum oder in besonderen nur der Divergenzinnervation dienenden Zellgruppen (resp. den zu diesen führenden vom Großhirn kommenden Nervenfasern).

Hysterische Divergenzlähmung scheint nur in Kombination mit hysterischer Konvergenzlähmung in Form der Fixationsstarre vorzukommen.

Eine krampfhafte Divergenzstellung scheint bis jetzt nicht bekannt zu sein. Falls eine solche überhaupt möglich ist, müßte sie die Erscheinungen einer Konvergenzlähmung zeigen, von der sie sich nur dadurch unterscheiden würde, daß bei Ruhelage eine deutliche Divergenzstellung auftritt und diese Stellung zugleich mit dem absoluten Fusionsfernpunkt zusammenfiele (während bei Konvergenzlähmung noch eine gewisse Abduktion möglich ist).

---

und Lähmung passen im allgemeinen nicht für die hysterischen Einstellungsfehler; aber wir müssen sie wohl beibehalten, bis man sich auf eine bessere Bezeichnung einigt. Wir gebrauchen ohnehin schon den Ausdruck Krampf in einem etwas erweiterten Sinn.

b) Konjugierte Störungen der gleichsinnigen Bewegungen.

Die gleichsinnigen Bewegungen können ebenfalls in konjugierter Weise (d. h. für beide Augen in gleichem Sinn und gleichem Grad) gestört sein. Gewöhnlich versteht man unter einer „assoziierten Lähmung“ im engeren Sinn eine Lähmung der gleichsinnigen Bewegungen. Wir haben auch hier Störungen durch Lähmungs- und durch Krampfzustände.

α) Gleichsinnige Lähmungen.

Gleichsinnige Lähmungen treffen vor allem die Blickwendungen nach rechts oder nach links. Viel seltener sind gleichsinnige Lähmungen der Blickhebung oder der Blicksenkung. Beide Augen weichen bei Ruhestellung von der normalen Ruhelage in gleicher Richtung ab, sie können entweder nur bis ungefähr zur normalen Stellung, oder, wenn nur Parese vorliegt, etwas darüber hinaus bewegt werden und gehen nach Aufhören der versuchten Blickwendung wieder in die Ablenkungsstellung — „konjugierte Ablenkung“ — zurück. Bei intendierter Blickwendung in der Lähmungsrichtung wird von beiden Augen falsch lokalisiert, indem der fixierte Gegenstand in der Richtung zu liegen scheint, die der vermeintlichen Lage der binokularen Blicklinie entspricht, d. h. derjenigen Lage, welche dem aufgewandten Bewegungsimpuls bei normaler Ausführung der Bewegung entsprechen würde. Diese falsche Lokalisation besteht schon in der (pathologischen) Ruhelage, da diese von den Wahrnehmungszentren als normal vorausgesetzt wird; aber sie steigert sich, sobald eine Bewegung in der Lähmungsrichtung intendiert wird, infolgedessen macht das ganze Gesichtsfeld bei einem solchen Bewegungsimpuls eine der Lähmungsrichtung entsprechende Scheinbewegung. Der binokulare Blickraum ist für die willkürlichen Bewegungen nach der Lähmungsseite objektiv beschränkt, subjektiv aber nicht.

Auch partielle ein- und doppelseitige Lähmung der Seitwärtswendung ist möglich, indem der Internus auf einem oder auf beiden Augen nur für die Seitwärtswendung, nicht aber für die Konvergenz gelähmt ist (Bielschowsky).

Unter Umständen kann, wie eine Beobachtung von Bielschowsky zeigt, reflektorisch noch eine Blickbewegung in der Lähmungsrichtung ausgelöst werden, indem man den Kopf des Patienten in der der Lähmungsrichtung entgegengesetzten Seite dreht, während der Patient einen bestimmten Gegenstand fixiert; die Kopfbewegung

wird dabei sofort durch eine der Lähmungsrichtung entsprechende Augenbewegung kompensiert. Wo diese reflektorische Bewegung auslösbar ist, muß die Lähmung durch einen Krankheitsherd bedingt sein, der die vom Großhirn zu den Muskelkernen für die gestörte gleichsinnige Bewegung ziehenden Nervenfasern trifft, also eine „supranukleare Lähmung". Wo diese reflektorische Bewegung nicht ausführbar ist, wäre eine Lähmung der entsprechenden Kerne selbst, oder eines hypothetischen Assoziationszentrums in der Brücke anzunehmen. Auch eine einseitige Kompensationsbewegung ist denkbar: wenn z. B. bei Lähmung der Rechtswendung etwa die Kompensationsbewegung vom linken Auge ausgeführt würde, nicht aber zugleich vom rechten, so wäre dies durch eine Lähmung des rechten Abduzenskerns mit Läsion der zu dem koordinierten Internuskern ziehenden Großhirnfasern erklärbar (die der Kompensationsbewegung dienenden Reflexbahnen zum Internuskern wären dabei nicht mit betroffen). Die regelmäßige Prüfung dieser Verhältnisse bei gleichsinnigen Lähmungen könnte zur Entscheidung der Frage beitragen, ob in der Brücke ein Assoziationszentrum für die gleichsinnigen Lateralbewegungen vorhanden ist (dessen Lähmung die Kompensationsbewegung beider Augen aufheben würde), oder ob eine Blicklähmung nach rechts oder links („Seitenblicklähmung"), falls sie nicht supranukleär bedingt ist, auf eine Läsion des einen Abduzenskerns und der nahe an diesem vorbei zum assoziierten Internuskern ziehenden Fasern zu beziehen ist.

Eine analoge Frage besteht auch für die Lähmung der assoziierten Vertikalbewegungen, doch ist für diese die Wahrscheinlichkeit größer, daß keine besonderen Assoziationszentren in der Brücke (oder in den Vierhügeln) vorhanden sind, da in den meisten Fällen von vertikalen Lähmungen die Bewegungsstörungen der beiden Augen doch quantitative Unterschiede zeigen.

Eine gewisse Form gleichsinniger Lähmungsablenkung bedarf noch besonderer Betrachtung: Zuweilen kann bei konjugierter Ablenkung die Bewegung nach der anderen Seite vorübergehend vollständig ausgeführt werden. Es handelt sich hier im allgemeinen um eine Parese, die durch Großhirnherde bedingt ist, besonders nach apoplektischen Insulten, sei es durch Unterbrechung der okulomotorischen Stabkranzbahn oder der entsprechenden Rindenzentren einer Seite; die Bewegung in der Lähmungsrichtung wird dann offenbar von der anderen (mit der Lähmung gleichnamigen) Hirnhälfte innerviert. Es ist anzunehmen, daß jede Hemisphäre

zwar vorwiegend die kontralateralen Bewegungen, d. h. die Bewegungen nach der gekreuzten Seite innerviert, aber außerdem auch alle anderen Bewegungen innervieren kann, wenn auch mit geringerer Kraft. Wie sich in solchen Fällen die Lokalisation verhält, wurde bisher noch zu wenig beachtet; es ist wahrscheinlich, daß eine Störung in den Rindenzentren selbst keine Lokalisationsstörung bewirkt.

Auch hysterische Blicklähmungen kommen vor, wobei aber (wenn nicht zugleich hysterisch-spastische Ablenkung vorliegt) gut gerade aus fixiert wird; die Augen folgen einem bewegten Fixierobjekt nach gewissen Richtungen nicht oder nur bis zu einem gewissen Grade; es kann auch eine allseitige hysterische Bewegungsbeschränkung auftreten, wie ich selbst beobachtet habe; bei langsamen passiven Kopfdrehungen konnten aber die Augen bis zu fast normaler Exkursion die geforderte Fixation festhalten, um schließlich mit einem raschen Ruck in ihre Mittellage zurückzugehen.

b) Gleichsinnige krampfhafte Ablenkungen.

Konjugierte Ablenkung kann auch durch Reizung der Zentren oder Bahnen für die konjugierten Bewegungen bedingt sein, also eine krampfhafte Ablenkung darstellen; man bezeichnet diese gewöhnlich als spastische konjugierte Ablenkung (Déviation conjuguée). Die Augen sind stark nach einer Seite abgelenkt, in manchen Fällen zugleich auch nach oben; sie können ihre Stellung gar nicht oder nur in kurzen nystagmischen Zuckungen verlassen; zuweilen ist die Ablenkung überhaupt mit oszillierenden Zuckungen Nystagmus) verbunden. Gewöhnlich tritt die konjugierte Ablenkung, abgesehen von der sehr seltenen hysterischen Form, zusammen mit Extremitätenkrämpfen auf oder bleibt nach solchen zurück, besonders nach apoplektischen Insulten oder bei epileptischen Anfällen. In der Regel handelt es sich um eine Erkrankung im Großhirn, indem die Augen (bei krampfhafter Ablenkung!) nach der Seite der krampfenden (oder der gelähmten) Extremitäten abweichen, sie sehen vom Krankheitsherd weg. Bei Reizzuständen in der Brücke sehen die spastisch abgelenkten Augen von den krampfenden oder gelähmten Extremitäten weg, also nach dem Krankheitsherd hin; indes scheint das Vorkommen spastischer Ablenkung bei Brückenherden, die leichter zu allgemeinen, als zu einseitigen Konvulsionen führen, noch nicht genügend sicher gestellt.

𝔅) Nicht konjugierte Beweglichkeitsstörungen.

Sind die Leistungen eines oder mehrerer Muskel eines oder beider Augen allgemein, d. h. nicht nur für konjugierte Bewegungen, gestört, so ist die Beweglichkeit eines oder beider Augen in irgend einer oder mehreren Richtungen absolut beschränkt, und zwar bei Muskeln, die gleichsinnigen und akkommodativen Bewegungen dienen, für beiderlei Bewegungen in gleichem Maße. Hier kommen fast nur Lähmungen in Betracht; Kontrakturen einzelner Muskeln sind äußerst selten.

a) Nicht konjugierte Augenmuskellähmungen.

1. Symptomatologie der Augenmuskellähmungen.

Lähmungen bewirken eine objektiv nachweisbare Beweglichkeitsbeschränkung, die bei gröberen Störungen schon an der Verringerung oder Aufhebung der Bewegung in der Zugrichtung der gelähmten Muskel erkennbar ist (s. S. 287 Bestimmung des Blickfeldes). Bei vollständiger Lähmung eines oder mehrerer (nicht antagonistischer) Muskel weicht schon in der Ruhelage die Blicklinie des betroffenen Auges von der des anderen Auges ab. Geringere Störungen machen sich oft erst bei Vergleichung mit dem anderen Auge deutlich bemerkbar: Das von einer Lähmung betroffene Auge bleibt bei Blickwendungen, die der Zugrichtung des oder der gelähmten Muskel entsprechen, gegenüber dem anderen Auge zurück, sein Bewegungsausschlag entspricht nicht dem gegebenen Willensimpulse. Dies hat zugleich zur Folge, daß das gelähmte Auge das Geschehene **unrichtig lokalisiert**, und zwar im Sinne einer Verschiebung in der Zugrichtung der bei der Blickbewegung beanspruchten gelähmten Muskel.

Das möge zunächst durch das Verhalten bei Lähmung eines einzelnen Muskels veranschaulicht werden. Es sei z. B. der r. Musc. rect. extern. gelähmt. Der in der Medianebene liegende Punkt A (Fig. 73) möge von beiden Augen fixiert werden können. Wird das Fixierobjekt A nach rechts bis nach A' gebracht, so folgt das linke Auge dem binokularen Blickwendungsimpulse in normaler Weise, das rechte Auge bleibt dagegen zurück, seine Blicklinie kommt nur in die Stellung $F_r' B$; das Netzhautbild von A' fällt im rechten Auge auf die Stelle a, also nasal von der Fovea F_r', A' erscheint deshalb dem rechten Auge temporal (hier somit nach rechts) von der Sehrichtung seiner Blicklinie, die Sehrichtungen beider Blicklinien

sind aber identisch (s. S. 240), d. h. sie liegen in der „binokularen Blicklinie“ *MA'* (in der Figur nicht ausgezogen), deren Lage dem gegebenen Bewegungsimpuls entspricht. Der Punkt *A* erscheint also dem rechten Auge um den gleichen Winkel nach rechts von der binokularen Blicklinie verschoben, um den er von der wirklichen Blicklinie des rechten Auges nach rechts abweicht. Der Punkt *A* erscheint somit den beiden Augen in verschiedener Richtung vom Fußpunkt *M* der binokularen Blicklinie aus, d. h. er wird **doppelt gesehen**, und zwar erscheint er dem rechten, von einer Lähmung des Rechtswenders betroffenen Auge nach rechts, in der Zugrichtung des gelähmten Muskels, verschoben.

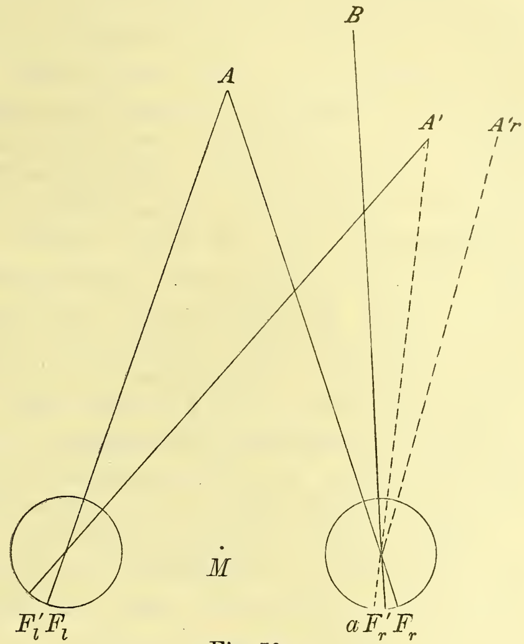


Fig. 73.

Je weiter das Fixierobjekt nach rechts gerückt wird (bei gleichbleibender Kopfstellung), umso mehr wird das rechte Auge in der Bewegung nach rechts hinter dem linken Auge zurückbleiben, um so größer wird also der Abstand der „Doppelbilder“ voneinander werden, man kann ganz allgemein sagen: Bei Bewegung des Fixierobjektes in der Zugrichtung eines gelähmten Muskels erscheint von einem gewissen Moment an das Objekt doppelt; das dem gelähmten Auge angehörende Bild eilt in der Bewegungsrichtung voraus. Sobald also doppelt gesehen wird, weicht das Bild des gelähmten Auges in der Zugrichtung des gelähmten Muskels ab, da das Auge nach der entgegengesetzten Richtung abweicht.

Dieser Satz gilt auch, wenn das gelähmte Auge das fixierende oder, wo es nicht mehr fixieren kann, das „führende“ — d. h. das von der Aufmerksamkeit bevorzugte — ist, und zwar wächst hier-

bei der Doppelbilderabstand bei Bewegung in der Zugrichtung des gelähmten Muskels noch rascher, als wenn das gelähmte Auge fixiert. Dies können wir uns auch an Fig. 73 klar machen.

Verdecken wir das linke Auge, während es den Punkt A' fixiert, so wird das rechte in der Bewegung zurückgebliebene Auge den Punkt A' zu fixieren suchen. Nehmen wir an, daß dies in der That noch möglich sei, so wird das nur mit einem sehr verstärkten binokularen Rechtswendungsimpuls geschehen können, d. h. einem Impuls, der die Blicklinie des rechten Auges um einen größeren als den „Rückstandswinkel" nach rechts bewegen würde, wenn der Rect. ext. die Bewegung normal ausführen könnte (wie es beim Begleitungsschielen der Fall wäre). Diesem verstärkten Impuls folgt aber das linke Auge unter der deckenden Hand in normaler Weise, d. h. die Blicklinie des verdeckten normalen Auges dreht sich um einen größeren Winkel nach rechts, als die Blicklinie des rechten Auges bei Übernahme der Fixation seitens dieses Auges. Fixiert von vornherein das gelähmte Auge, so macht das gesunde auch diese vorauseilenden Bewegungen, es lokalisiert aber (annähernd) richtig; das Lähmungsbild macht dagegen eine um so ausgiebigere Bewegung in derselben Richtung.

Wir bezeichnen die bei aufgehobenem Binokularsehen vorhandene Abweichung der Blicklinie des gelähmten Auges von dem Fixierpunkt des normalen Auges als „**Primärablenkung**" des gelähmten Auges, und die Abweichung der Blicklinie des normalen Auges vom Fixierpunkt des gelähmten Auges (wenn dieses die Fixation übernimmt) als „**Sekundärablenkung**" des normalen Auges. Bei Schielstellung infolge einer Lähmung ist also die Sekundärablenkung des normalen Auges größer als die Primärablenkung des gelähmten Auges. Die Sekundärablenkung stellt gewissermaßen einen Multiplikator der Lähmungsablenkung dar und läßt die Bewegungsstörung oft noch deutlich erkennen, wenn die Primärablenkung nicht deutlich hervortritt.

Bei den meisten Augenmuskellähmungen ist noch ein mehr oder minder großer Teil des binokularen Blickraumes sowohl nach der Breiten- und Höhendimension, als nach der Tiefe erhalten; besonders wenn es sich bloß um Lähmung von Seitwärtswendern handelt, kann durch das Fusionsvermögen das binokulare Sehen in ziemlich weitem Umfange erhalten bleiben. In einem großen Teil des erhaltenen binokularen Blickraumes wird aber bei binokularer Einstellung falsch lokalisiert, sobald der oder die gelähmten Muskel in Anspruch

genommen werden; dies macht sich natürlich am stärksten an der eingeschränkten Grenze des binokularen Blickraumes geltend.

Wir wollen dies unter der Annahme einer unvollständigen Lähmung des rechten Rectus internus an der Fig. 74 erläutern. Der nach rechts gelegene Punkt A möge ohne merkliche falsche Lokalisation binokular fixiert werden können, und es sei dem Patienten noch möglich, den etwa in der Medianebene gelegenen Punkt B noch binokular zu fixieren. Dazu bedarf es aber einer aus einem verstärkten Linkswendungsimpuls und einem Konvergenzimpuls kombinierten Innervation, nämlich eines Linkswendungsimpulses, der für sich allein die linke Blicklinie über den Punkt B hinaus, etwa in die Lage LB_l, und die (dem Impuls nur ungenügend folgende) rechte Blicklinie bis nahe an den Punkt B, etwa in die Lage RB_r führen würde, und eines Konvergenzimpulses, der dann die beiden Blicklinien auf den Punkt B einstellen würde.

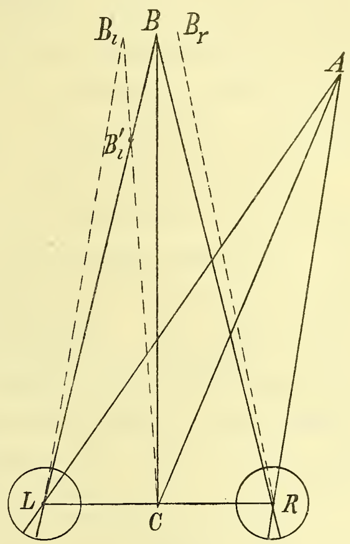


Fig. 74.

Denken wir uns diese beiden Innervationen nacheinander wirkend, so würde durch die erste Innervation die binokulare Blicklinie (die vermeintliche Sehrichtung beider Gesichtslinien, s. S. 240) in die Lage CB_l gebracht, B_l wäre der vermeintliche binokulare Blickpunkt; durch den nun folgenden Konvergenzimpuls, der die beiden Blicklinien tatsächlich auf den Punkt B einstellt, wird der vermeintliche binokulare Blickpunkt auf der binokularen Blicklinie CB_l bis B_l' herangerückt. Also bei binokularer Einstellung wird infolge der Parese des rechten Rectus internus der fixierte Punkt B zu weit nach links und zugleich etwas zu nahe gesehen, es findet also auch bei binokularer Fixation eine Scheinverschiebung des fixierten Gegenstandes (und damit des ganzen binokularen Gesichtsfeldes) in der Zugrichtung des gelähmten Muskels statt, sobald der gelähmte Muskel in Anspruch genommen wird, nur ist diese Scheinverschiebung natürlich geringer als bei monokularer Fixation mit dem gelähmten Auge. Diese falsche Lokalisation wird indes, be-

sonders hinsichtlich der Tiefenwahrnehmung, bis zu einem gewissen Grade durch Erfahrungseinflüsse und durch den Einfluß der binokularen relativen Tiefenwahrnehmung auf die absolute Tiefenwahrnehmung korrigiert. Die nach dem Eintritt der Lähmung sehr rasch zur Geltung kommende teilweise Korrektion der falschen Lokalisation hat zur Folge, daß beim Verdecken des gelähmten Auges eine falsche Lokalisation seitens des gesunden Auges in zur Lähmungsseite entgegengesetzter Richtung eintritt (die von M. Sachs sogenannte „spastische Lokalisation“), indem jene subjektive Korrektion auch bei der jetzt richtigen Einstellungsinnervation noch wirksam bleibt.

Da die binokulare falsche Lokalisation innerhalb des binokularen Blickraumes ebenfalls nach der Lähmungsseite hin zunimmt und nach der entgegengesetzten Seite hin abnimmt, so erfolgen auch im Gebiet des binokularen Blickraumes bei Augenbewegungen Scheinbewegungen der Gegenstände im Sinne der Bewegungsrichtung. Zur Vermeidung dieser Scheinbewegungen und des dadurch hervorgerufenen Schwindels (Gesichtschwindel) wird auch bei verhältnismäßig geringer Einschränkung des binokularen Blickraumes der Kopf nach der Lähmungsseite gedreht, die Augenbewegungen werden möglichst durch Kopfbewegungen ersetzt.

Auch beim Doppeltsehen tritt infolge der Scheinbewegungen des Lähmungsbildes Schwindel auf, der bei Verschluß des gelähmten Auges verschwindet.

Auch bei nur geringer Lähmung läßt sich in einem gewissen Gebiete des gesamten Blickraumes das Auftreten von Doppelbildern nachweisen (unter Umständen mittels besonderer Maßnahmen, s. unter Prüfung der Beweglichkeitsstörungen S. 285). Die Stellung der Doppelbilder zu einander bei verschiedenen Blickrichtungen zeigt ein für die Lähmung bestimmter Muskel charakteristisches Verhalten. Dieses Verhalten läßt sich für die einzelnen Muskel leicht daraus ableiten, daß man sich die Zugrichtung des gelähmten Muskels bei der betreffenden Augenstellung vorstellt, daß man sich also vorstellt, wie der Muskel das Auge bewegen würde, wenn er eine besondere Kontraktion für sich allein ausführen könnte.

Das in Fig 75 dargestellte Schema veranschaulicht, wie jeder der 6 Muskel beider Augen für sich allein den vertikalen Hornhautmeridian von der Primärstellung aus verschieben würde. Die zentralen Striche P der beiden Figurenhälften ver-

treten die normale Lage beider vertikalen Hornhautmeridiane in der Primärstellung und zugleich korrespondierende zentrale Abschnitte der vertikalen Gesichtsfeldmeridiane. Die sechs anderen Striche jeder Hälfte stellen die gedachte Verschiebung des vertikalen Hornhautmeridians für die Einzelkontraktion jedes der sechs

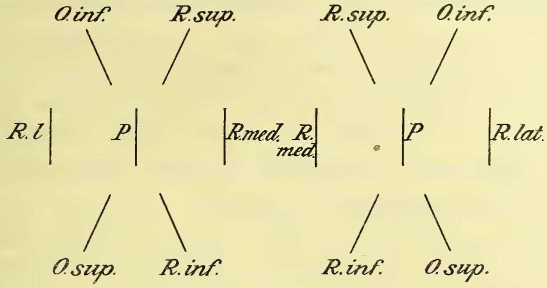


Fig. 75.

Muskel dar. Das Schema giebt für die Heber und Senker nicht genau die Zugrichtung an, es soll nur die für das Verhalten der Doppelbilder maßgebende Art der Wirkung in leicht zu behaltender Weise illustrieren. Der gedachten Verschiebung des Hornhautmeridians eines Auges aus seiner normalen Stellung bei Kontraktion eines bestimmten Muskels entspricht bei Lähmung dieses Muskels die Abweichung des von dem gelähmten Auge gesehenen Scheinbildes eines vertikalen linearen Objektes (z. B. einer Lichtflamme) von der normalen Lage, damit also zugleich von dem richtig gesehenen Bild des anderen Auges (da das gelähmte Auge mit seiner Gesichtslinie in der zur Zugrichtung des gelähmten Muskels entgegengesetzten Richtung abweicht), s. S. 264. Abweichung des Scheinbildes nach der temporalen Seite des gelähmten Auges bedeutet eine gleichnamige, Abweichung nach der nasalen Seite eine gekreuzte Lage der Doppelbilder.

Man ersieht aus der Figur ohne weiteres, daß der Lähmung eines Muskels mit adduzierender Zugrichtung gekreuzte, die Lähmung eines Muskels mit abduzierender Wirkung gleichnamige Doppelbilder entsprechen. Gekreuzte Doppelbilder treten also außer bei Lähmung eines Rectus medialis auch bei Lähmung eines Rectus superior und inferior auf, gleichnamige außer bei Lähmung eines Rectus lateralis auch bei Lähmung eines Obliquus superior und inferior. Doppelbilder mit Höhenunterschieden weisen also, wenn sie gekreuzt sind, auf Lähmung eines

geraden, wenn sie gleichnamig sind, auf Lähmung eines schiefen Hebers oder Senkers. Dies sind aber keine zuverlässigen Kennzeichen, denn die gleichnamige oder gekreuzte Verschiebung der Doppelbilder kann durch eine vor der Lähmung vorhanden gewesene abnorme Ruhelage kompensiert oder selbst überkompensiert werden: Ursprüngliche Konvergenzruhelage wirkt einer gekreuzten, ursprüngliche Divergenzruhelage einer gleichnamigen Verschiebung der Doppelbilder entgegen. Auch geringe Lähmungen eines Rectus internus oder externus können dadurch in gewissem Umfange verdeckt werden; mit zunehmender seitlicher Blickwendung werden aber in der Regel charakteristische Doppelbilder auftreten, deren Abstand mit weiterer Steigerung der Blickwendung zunimmt.

Bei Lähmung eines geraden oder schiefen Hebers (oder Senkers) könnte man die Neigung der Scheinbilder vertikaler Objekte nach links oder nach rechts (mit ihrem oberen Ende) zur Unterscheidung benutzen; diese scheinbare Neigung wird aber von den Patienten oft gar nicht oder nur unsicher bemerkt, und das Verhalten der Doppelbilder charakterisiert sich bei diesen Lähmungen zudem viel deutlicher durch den Unterschied des Höhenabstandes bei Rechtswendung und bei Linkswendung des Blickes: für das bei einer seitlichen Blickrichtung adduzierte Auge haben die schiefen, für das abduzierte die geraden Heber und Senker das Übergewicht hinsichtlich der Höhenwirkung (vergl. S. 245), eine Obliquuslähmung wird also bei Adduktionsstellung, eine Rektuslähmung bei Abduktionsstellung größere Höhenunterschiede der Doppelbilder zur Folge haben.

Wir erhalten nicht nur bei Lähmung einzelner Muskel, sondern meist auch bei Lähmung mehrerer Muskel genügend charakteristische Bilder von dem Verhalten des Doppelt- und Einfachsehens, wenn wir dieses Verhalten für neun ausgewählte Lagen des Fixierobjektes bestimmen, nämlich für drei verschiedene Höhenlagen der Blickebene — horizontal und je etwa 25° nach unten und oben — und in jeder Höhenlage je für eine mediane, eine linksseitige und eine rechtsseitige Lage, etwa 30° nach jeder Seite. Die Abweichung des Objektes von der Primärlage der Blicklinien kann nach Bedürfnis auch größer oder kleiner gewählt werden, je nachdem es sich um geringere oder ausgesprochenere Lähmungen handelt. Wir wollen dies an einigen Figuren veranschaulichen, und zwar unter der Voraussetzung unvollständiger Lähmungen, so daß stets noch

ein Teil des binokularen Blickraumes erhalten ist. Bei vollständiger Lähmung eines (oder mehrerer) Muskel besteht meist im gesamten Blickraum Doppeltsehen, das charakteristische Verhalten der Doppelbilder ist aber dasselbe, soweit die Doppelbilder überhaupt wahrgenommen und ihr Abstand von einander noch beurteilt werden kann, was bei hochgradigen Lähmungen zuweilen nicht mehr bei allen Blickrichtungen der Fall ist.

Bei den folgenden Figuren bedeuten die Pfeile die Bilder des rechten, die einfachen Striche die Bilder des linken Auges; die einfach gesehenen Bilder sind durch I dargestellt. Die in Klammer beigefügten Angaben bezeichnen die der Vertauschung der Zeichen für links und rechts entsprechende Lähmung. Die Figuren geben die Lage der Bilder, wie sie der Kranke sieht.

Fig. 76 stellt eine mäßige Lähmung des **rechten Rectus internus** (s. medialis) dar. Die gekreuzten Doppelbilder zeigen in den drei verschiedenen Höhenlagen der Blickebenen keine Höhenunterschiede; nach rechts wird in allen Höhenlagen einfach gesehen, geradeaus und nach links doppelt, mit Zunahme des Doppelbilderabstandes nach links und Vorauseilen des rechtsäugigen Bildes, somit Linkswender des rechten Auges gelähmt. Der Seitenabstand der Doppelbilder nimmt auch mit der Blicksenkung etwas zu; dies ist durch die physiologische (gewohnheitsmäßige) Verknüpfung einer Konvergenzsteigerung mit jeder Blicksenkung bedingt, da bei Blick nach abwärts im allgemeinen die Fixierung verhältnismäßig naher Gegenstände in Betracht kommt (Fußboden, Naharbeit). Gelegentlich kommen auch kleine Höhenunterschiede der Doppelbilder bei Lähmung eines Seitenwenders vor, sie zeigen aber, im Gegensatz zur Lähmung eines Hebers oder Senkers, keine merkliche Zunahme bei Hebung oder Senkung des Blickes.

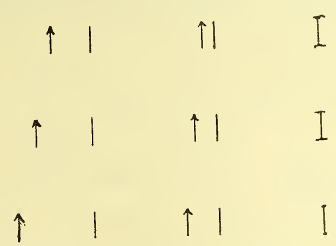


Fig. 76. Lähmung des rechten Musc. rect. int.

↑ Bild des rechten Auges.
| „ „ linken „
I Einfach gesehenes Bild.

(Bei Vertauschung der Zeichenbedeutung Lähmung des linken Rect. externus).

Bei Vertauschung der Zeichenbedeutung für links und rechts stellt Fig. 76 eine Lähmung des linken Rectus externus dar.

Betrachtet man Fig. 76 in einem seitlich gestellten Spiegel oder von der Rückseite (indem man das Blatt gegen das Licht hält), so entspricht die Figur einer Lähmung des rechten Rectus externus, wenn die Pfeile die Bilder des rechten Auges darstellen, dagegen einer Lähmung des linken Rectus internus, wenn sie die linksäugigen Bilder darstellen.

Fig. 77 stellt eine Lähmung des **rechten Obliquus superior** dar. Bei Blickhebung überall Einfachsehen, in der Horizontalebene Doppelbilder mit Tieferstand des rechtsäugigen Bildes, Zunahme dieses Höhenunterschiedes nach unten, also Senker des rechten Auges gelähmt; der Höhenunterschied ist größer bei Blick nach links unten, also bei Adduktionsstellung des rechten Auges, somit ist der schiefe Senker gelähmt, d. h. der Obliquus superior. Da dieser Muskel vom Nervus trochlearis versorgt wird und die Lähmung in der Regel auf einer Erkrankung des Nerven beruht, sprechen wir gewöhnlich von Trochlearislähmung.

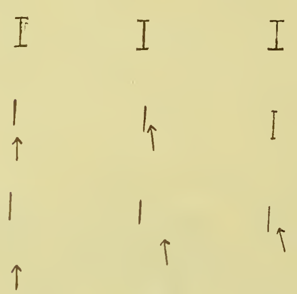


Fig. 77. Lähmung des rechten Musc. obl. sup. (linken Rect. inf.).

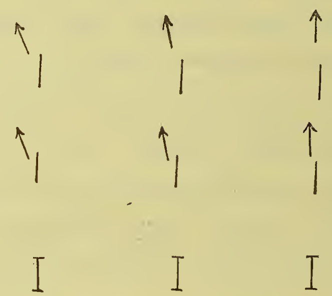


Fig. 78. Lähmung des rechten Musc. rect. sup.

Die Linksneigung des Lähmungsbildes ist für den Patienten am ehesten dadurch erkennbar, daß die beiden Bilder mit der Spitze gegeneinander geneigt sind (nach oben konvergieren), vorausgesetzt, daß es sich wirklich um gleichnamige Doppelbilder handelt; durch ursprüngliche Divergenzruhelage können auch bei Trochlearislähmung die Bilder gerade übereinander kommen oder gekreuzt werden, dann erscheinen sie mit dem oberen Ende voneinander wegzustreben (Divergenz nach oben). Im allgemeinen kommt es auf die Beobachtung dieser Bilderneigung wenig an, eventuell kann sie mittels des Maddoxschen Stäbchens genauer bestimmt werden (wie die Messung der Rollungsabweichungen, s. S. 292).

Bei Vertauschung der Zeichenbedeutung für links und rechts stellt Fig. 77 eine Lähmung des linken Rectus inferior dar; die Doppelbilder sind gekreuzt, wenn nicht ursprünglich eine Konvergenzruhelage vorhanden war.

Im Spiegelbild (oder von der Rückseite) stellt Fig. 77 eine Lähmung des rechten Rectus inferior dar, wenn die Pfeile das rechtsäugige Bild bedeuten, und eine Lähmung des linken Obliquus superior, wenn sie das linksäugige Bild bedeuten.

Ganz analoge Betrachtungen gelten für die Heberlähmungen. Fig. 78 zeigt, wenn die Pfeile das rechtsäugige Bild bedeuten, eine Lähmung des **rechten Rectus superior**, und im Spiegelbild eine Lähmung des rechten Obliquus inferior; wenn die Pfeile das linksäugige Bild darstellen, haben wir eine Lähmung des linken Obliquus inferior, und im Spiegelbild eine Lähmung des linken Rectus superior.

Auch bei kombinierten Lähmungen eines Auges sind die für die einzelnen Muskel charakteristischen Bildabweichungen meist genügend deutlich erkennbar, vor allem bei gleichzeitiger Lähmung des Rectus internus und Rectus externus; sind diese z. B. beim rechten Auge gelähmt, so geht das rechtsäugige Bild bei Rechtswendung nach rechts, bei Linkswendung nach links.

Weniger einfach ist die Sache bei Lähmung beider Heber oder beider Senker eines Auges. Es seien z. B. beide Heber des rechten Auges gelähmt; sind beide gleich stark gelähmt, so ist der Höhenunterschied der Doppelbilder in gehobener Blickebene sowohl bei Links- wie bei Rechtswendung annähernd gleich; überwiegt die Lähmung des einen Hebers, beispielsweise des Rectus superior, so ist der Höhenunterschied der Doppelbilder nach rechts oben am größten (gerade wie bei isolierter Lähmung dieses Muskels); über die Medianebene hinaus nach links fällt aber der Höhenunterschied nicht geradlinig ab, sondern er bleibt nach links oben relativ größer, d. h. ungefähr gleich wie in der Medianebene.

Dies Verhalten wird nicht wesentlich gestört, wenn außerdem etwa auch beide Senker gelähmt sind; in der oberen Hälfte des Blickraumes zeigt die Lähmung der Heber, in der unteren die der Senker den eben besprochenen Typus. Ist dagegen neben beiden Hebern noch ein Senker gelähmt, ist beispielsweise der eben besprochene Fall noch durch Lähmung des rechten Rectus inferior kompliziert, so wird dadurch die Lähmung des Rectus superior für die Horizontalebene mehr oder weniger kompensiert, bei Hebung

des Blickes kommt aber die Lähmung des Rectus superior immer mehr zur Geltung, wenn auch die Höhendistanz nach rechts oben noch etwas geringer bleibt, als nach links oben. Eventuell kann durch Bestimmung einer Linksneigung des rechtsäugigen Bildes bei Blick nach links oben die Beteiligung des Rectus superior an der Lähmung nachgewiesen werden.

Fig. 79 illustriert eine Lähmung sämtlicher Muskel des rechten Auges außer dem Obliquus superior, also eine Lähmung des Nervus oculomotorius und des Abducens unter Freibleiben des Trochlearis. Die Lähmung des rechten Rectus inferior tritt bei Blicksenkung deutlich zu Tage, die des Rectus internus bei Blick nach links, die des Rectus externus bei Blick nach rechts. Der Höhenunterschied der Doppelbilder bei Blickhebung ist nach



Fig. 79. Rechtsseitige Lähmung aller Muskel außer Obl. sup. (= Oculomotorius und Abducenslähmung).



Fig. 80. Lähmung (Parese) des linken und rechten Musc. obl. sup. (doppelseit. Trochlearislähmung); rechtsseitig stärker.

rechts oben geringer als nach links oben, da die Lähmung des Antagonisten des Rectus superior hier modifizierend einwirkt, aber die Zunahme des Höhenunterschiedes im Verhältnis zu dem bei horizontaler Blickebene ist bei Rechtswendung größer als bei Linkswendung, da in der Horizontalebene die kompensierende Wirkung des Rectus inferior sich noch stärker geltend macht als bei Hebung des Blickes. Auch Feststellung einer Linksneigung des rechtsäugigen Bildes bei Blick nach links oben kann auf die Beteiligung des Rectus superior hinweisen.

Von doppelseitigen Lähmungen geben die Lähmung beider Recti externi sowie beider interni genügend charakteristische Doppelbildertypen, der Seitenabstand nimmt in beiden Fällen von

der Mittellage aus nach links und nach rechts zu, im 1. Fall sind natürlich die Doppelbilder gleichnamig, im 2. gekreuzt. Die ausgesprochene Zunahme des Doppelbilderabstandes nach beiden Seiten hin unterscheidet die doppelseitige Internuslähmung von der Konvergenzlähmung, und die doppelseitige Externuslähmung von der Divergenzlähmung und vom Konvergenzkrampf (vergl. oben S. 258.)

Auch die doppelseitige Trochlearislähmung ergiebt ein sehr charakteristisches Verhalten der Doppelbilder, wie Fig. 80 zeigt: Bei Blick nach links unten steht das rechtsäugige, bei Blick nach rechts unten das linksäugige Bild tiefer.

Verhältnismäßig einfach ist die Diagnose bei den Blicklähmungen, die als eine besondere Art von Lähmungen schon für sich besprochen sind (s. S. 255, Prüfung s. S. 288 f.), aber auch bei allgemeinen Lähmungen, die assoziiert wirkende Muskel treffen, z. B. den schiefen Heber des einen und den geraden Heber des anderen Auges, wird sich aus der objektiven Beweglichkeitsbeschränkung und der Prüfung der Projektion (s. S. 280) die Diagnose meist genügend sicher stellen lassen.

Bei längerer Dauer einer Lähmung ist der Endausgang zuweilen eine dauernde Stellungsanomalie, die Doppelbilder werden dann spontan oft nicht mehr wahrgenommen, sind aber, wenn man sie durch künstliche Hilfsmittel (Prismen, Maddox'sches Stäbchen) zur Wahrnehmung bringt, im ganzen Blickraum vorhanden und zeigen oft nur bei stärkeren Blickwendungen noch ein auf die Lähmung hinweisendes Verhalten, oder sie bleiben im ganzen Blickraum im wesentlichen gleich. Im letzten Fall ist die Lähmung als solche geheilt und der Zustand in reines Begleitungsschielen übergegangen; dabei dürfte gewöhnlich schon ursprünglich eine dazu disponierende Stellungsanomalie vorhanden gewesen sein. Spontanes Doppeltsehen fehlt auch bei angeborenen Lähmungen, aber künstlich ist es meist hervorzurufen.

2. Benennung und Einteilung der nichtkonjugierten Augenmuskellähmungen.

Zunächst bezeichnet man eine Lähmung nach den beteiligten Muskeln oder nach den zugehörigen Nerven; so sprechen wir von Abducens-, Trochlearis-, Oculomotoriuslähmung; die letzte ist total, wenn der ganze Nerv, also alle von ihm versorgten Muskeln (samt Lidheber und Binnenmuskulatur) betroffen sind, partiell, wenn nur ein Teil derselben gelähmt ist.

Lähmung mehrerer von verschiedenen Nerven versorgten Muskeln bezeichnet man als Ophthalmoplegie, und zwar als einseitige oder doppelseitige, je nach nur einseitiger oder doppelseitiger Erkrankung. Die Ophthalmoplegie ist komplet, wenn die Beweglichkeit des betroffenen Auges oder beider Augen völlig aufgehoben ist, andernfalls inkomplet. Ferner sprechen wir von Ophthalmoplegia exterior, wenn nur die Bewegungsmuskel (mit Lidheber) betroffen sind, im Gegensatz zur Ophthalmoplegia interior, bei der nur die Binnenmuskel (Ciliarmuskel und Sphincter iridis) gelähmt sind.

Nach dem mutmasslichen Ort der Erkrankung teilen wir die Lähmungen zunächst in myogene und neurogene, je nachdem die Muskel selbst oder ihre Nerven erkrankt sind. Die neurogenen Lähmungen können orbitale oder basale sein, die man mit den myogenen als peripherische zusammenfaßt; ferner Wurzel- oder Kernlähmungen (fasciculäre oder nucleäre), die beide als zentrale Lähmungen bezeichnet werden.

Die supranukleären und Großhirnlähmungen sind stets konjugierte Lähmungen.

b) Nicht konjugierte Augenmuskelkrämpfe.

Über Krämpfe einzelner Muskel wissen wir noch so gut wie nichts. Daß Sekundärablenkung nicht mit Krampf zu verwechseln ist (wegen Zunahme der Abweichung des vorausgehenden Auges in der betreffenden Bewegungsrichtung), hat schon Manthner dargelegt. Er sagt: Wenn zeitweilig und scheinbar ohne Zusammenhang mit einer bestimmten Blickrichtung Deviationen des Auges eintreten, die den Eindruck eines Muskelspasmus machen, so ist die Möglichkeit eines solchen in Betracht zu ziehen. Ein von mir beobachteter zweifelloser (in Heilung ausgegangener) Fall von leichtem Krampf eines Obliquus superior bestätigt diesen Satz; das Scheinbild stand höher und war gekreuzt, bei Adduktionsstellung nahm der Höhenunterschied gewöhnlich zu, bei Senkung und Hebung gingen aber die Bilder unter gewissem Schwanken zusammen oder sie nahmen wenigstens an Höhenabstand ab. Die Doppelbilder traten nur zeitweilig für Minuten oder Stunden auf, konnten aber durch Bewegungen gewöhnlich vorübergehend beseitigt werden. Es ist zu vermuten, daß bei einer der Zugrichtung des spastischen Muskels entgegengesetzten Bewegung die physiologische

Tonusabnahme der Antagonisten auch einen solchen Spasmus verringern kann. Einseitige periodische Adduktionsbewegungen mit einseitiger Pupillenverengerung und Akkommodationssteigerung, z. T. auch mit Lidhebung, wurden bei einigen Fällen von angeborener oder in frühester Kindheit erworbener Okulomotoriuslähmung beobachtet.

III. Abnorme Eigenbewegungen der Augen.

Unwillkürliche Eigenbewegungen ohne Beweglichkeitsbeschränkung haben meist die Form von kurzen Zuckungen, was wir als Nystagmus und nystagmusartige Bewegungen bezeichnen; in seltenen Fällen handelt es sich um langsame ungeregelte Bewegungen, sogen. dissoziierte Augenbewegungen.

1. Krampfhafte Zuckungsbewegungen: Nystagmus und nystagmusartige Zuckungen.

Beim gewöhnlichen Nystagmus machen die Augen fortwährend rhythmische oder unregelmäßige, mehr oder weniger rasche Zuckungen, gleichgültig, in welcher Stellung sie sich befinden; die Bewegungen sind entweder rein seitliche Schwankungen um die vertikale Achse der Augen — Nystagmus oscillatorius horizontalis — oder vertikale, nach oben und unten gehende — Nystagmus oscillatorius vertikalis — oder Rollungszuckungen um die Blicklinie als Achse — Nystagmus rotatorius, oder endlich Zuckungen, die Kombinationen dieser Formen darstellen. Die häufigste Form ist der horizontale Nystagmus, die seltenste der rein vertikale.

Gewöhnlich besteht der Nystagmus auf beiden Augen in gleicher Weise und gleichem Maße, zuweilen zeigt er auf beiden Augen kleine Unterschiede, höchst selten tritt er nur einseitig auf.

Meist ist der Nystagmus in der ersten Kindheit erworben auf Grund angeborener oder frühzeitig erworbener Schwachsichtigkeit; oft handelt es sich um allgemeine angeborene Anomalien, so ist Albinismus gewöhnlich mit Nystagmus verbunden. Auch wenn gute S vorliegt, ist er wohl meist als Folgewirkung einer in der Kindheit vorhanden gewesenen Sehschwäche aufzufassen (Nieden). Diese von frühester Kindheit an bestehenden Formen werden gewöhnlich als „angeborener“ Nystagmus bezeichnet. Oft nimmt der gewöhnliche Nystagmus beim Bemühen, genau zu fixieren, zu. Scheinbewegungen der Gegenstände sind nicht mit ihm verbunden. Zuweilen ist der Nystagmus auch mit ähnlichen Kopfbewegungen (Spasmus nutans) verbunden.

In späterem Lebensalter können gewisse Formen von Nystagmus erworben werden, und zwar infolge von Hirn- und Rückenmarkserkrankungen, Labyrinterkrankungen, und infolge gewisser mit dauernd starken Anstrengungen der Augenbewegungen verbundener Beschäftigungen, so vor allem bei Bergleuten. Unter „erworbenem“ Nystagmus verstehen wir in der Regel diese Formen. Von Hirn- und Rückenmarkserkrankungen führen besonders die multiple Sklerose und die hereditäre Ataxie (FRIEDREICH'sche Krankheit) zu Nystagmus, meist in Form des ataktischen Nystagmus, indem bei Änderungen der Blickrichtungen die neue Stellung unter pendelnden, ataktischen Bewegungen (Intentionszittern) erreicht wird, nach richtiger Einstellung aber der Nystagmus aufhört oder wenigstens nachläßt. Der durch Labyrintherkrankungen bedingte Nystagmus kann auch die ataktische Form zeigen, aber auch dem gewöhnlichen Nystagmus gleichen. Der Nystagmus der Bergleute (Kohlenhauer) tritt als Folge der Übermüdung der Aufwärtswender nur beim Blick nach oben auf und besteht mehr in nystagmusartigen Zuckungen, die dann bei Blick nach unten nachlassen oder wieder verschwinden.

Bei diesen erworbenen Formen von Nystagmus, besonders bei dem der Bergleute, werden oft Scheinbewegungen der Gegenstände gesehen.

Ähnliche nystagmische Zuckungen wie beim Nystagmus der Bergleute treten auch als Zeichen beginnender Augenmuskellähmungen bei starken Blickwendungen nach der Seite der betroffenen Muskel auf; solche Zuckungen in den „Grenzstellungen“ der Augen sind aber nur dann als krankhaft anzusehen, wenn sie sofort nach ausgeführter Blickwendung auftreten. Durch Ermüdung treten auch bei ganz normalen Augen in Augenstellungen, die mit Anstrengung längere Zeit festgehalten werden, solche nystagmusartige Zuckungen auf.

Durch die Prüfung läßt sich im allgemeinen leicht erkennen, ob es sich um sog. angeborenen oder erworbenen Nystagmus handelt; man läßt zuerst ein Objekt ungefähr in Mittellage fixieren und beobachtet, ob hierbei deutlicher Nystagmus vorhanden ist, und führt dann das Objekt (Finger) nach verschiedenen Richtungen, bald langsam, bald mit raschem Ruck, und beobachtet, ob der Nystagmus bei den (oder wenigstens bei gewissen) Einstellungsbewegungen oder bei dauerndem Fixieren deutlicher ausgesprochen ist; im ersten Fall liegt erworbener, im zweiten angeborener Nystagmus vor.

2. Dissoziierte Augenbewegungen.

Sehr selten wurden bei gewissen Erkrankungen in normalem Wachzustande unkoordinierte Bewegungen beider Augen beobachtet, so bei Hysterie (Kunn), ferner in Kombination mit Augenmuskellähmungen bei Tabes (Kunn). Nicht selten treten sie dagegen bei Lähmungszuständen der Hirnrinde infolge von Intoxikationen oder Infektionskrankheiten auf, im normalen Schlaf werden sie ebenfalls beobachtet.

Auch eine willkürliche Dissoziation der Augenbewegungen (willkürliches Schielen mit dem einen Auge nach oben) wurde kürzlich beschrieben (Weinhold).

C. Prüfung der Bewegungsleistungen und ihrer Störungen.

Durch die Prüfung der Bewegungsleistungen können wir Art und Grad irgend welcher Bewegungsstörungen bestimmen. Über die Charakterisierung der abnormen Eigenbewegungen ist schon bei deren Besprechung das Nötige gesagt; hier ist daher nur zu erörtern, wie durch die Prüfung das Vorhandensein einer reinen Stellungsanomalie oder einer Beweglichkeitsstörung bestimmt und deren Art und Grad näher charakterisiert wird.

Praktisch gehen wir im allgemeinen am besten so vor, daß wir zuerst die Stellungsverhältnisse der Augen bei Akkommodationsruhe und bei Akkommodation auf eine bestimmte nahe Distanz prüfen; wir prüfen also für den Zustand der Akkommodationsruhe und für eine bestimmte Akkommodationsspannung, ob das Akkommodationskonvergenzverhältnis von seiten der Konvergenz gestört ist. Wir wollen diese Prüfungen unter Bezeichnung Stellungsprüfung zusammenfassen. Weiterhin prüfen wir, ob eine Beweglichkeitsstörung vorhanden ist und welcher Art eine solche ist, und endlich wird eine vorliegende Stellungsanomalie oder Beweglichkeitsstörung unter bestimmten Voraussetzungen dem Grad nach bestimmt.

I. Die Stellungsprüfung.

a) Stellungsprüfung bei Akkommodationsruhe.

𝔄. Prüfung der Blicklinienstellung.

Man läßt nach Korrektion etwaiger Ametropie ein Objekt auf mindestens 6 m Abstand in Mittellage fixieren, und achtet zu-

nächst darauf, ob der Patient richtig mit beiden Augen fixiert oder anscheinend schielt. Im allgemeinen werden schon geringe Schielablenkungen leicht bemerkt, der bloße Anblick giebt aber oft kein sicheres Urteil, und ferner kann auch ein geringer Schielgrad durch den Winkel γ vorgetäuscht werden, da wir die Stellung eines Auges nach der geschätzten Lage der durch die Pupillenmitte gehenden Augenachse beurteilen. Bei zweifellosem manifestem Schielen wird gleich weiter geprüft, ob das Schielen durch eine Beweglichkeitstörung bedingt ist (s. unter II.) oder nicht (also reines Begleitungsschielen vorliegt).

Ist keine deutliche Abweichung zu bemerken, so verdeckt man ein Auge, beispielsweise das linke, mit der Hand (oder einem Schirm), und prüft zunächst:

α) Das Verhalten des rechten Auges.

1. Macht jetzt das freie rechte Auge keine Einstellbewegung, sondern bleibt unverändert, so hat es von Anfang an richtig fixiert, und es ist dann noch das Verhalten des linken Auges zu prüfen (s. unter β).

2. Macht das rechte Auge nach Verdecken des linken eine Einstellbewegung, so liegt jedenfalls eine abnorme Ruhelage, und zwar manifestes Schielen für die Ferne, vor, und zwar Konvergenzruhelage, wenn die Einstellungsbewegung einer Abduktion entspricht, Divergenzruhelage, wenn sie einer Adduktion entspricht, oder endlich auch eine Höhenablenkung, wenn eine Vertikalbewegung erfolgte. Weiterhin ergiebt die Prüfung der Akkommodationsblickstellung (s. u.) und der Beweglichkeit, ob eine Beweglichkeitsstörung oder eine reine Stellungsanomalie vorliegt. Das verdeckte linke Auge hatte, wenn eine Ablenkung des rechten vorlag, vor dem Verdecken richtig fixiert, es ist also, mindestens für die Ferne, das fixierende Auge.

3. Macht das rechte Auge nach Verdecken des linken ganz unsichere Bewegungen, ohne die Fixation zu übernehmen, so ist dieses Auge hochgradig sehschwach (oder selbst blind), jedenfalls besteht kein binokulares Sehen.

β) Weiterhin ist das Verhalten des linken Auges zu prüfen.

aa) Verfahren bei richtiger Fixation des rechten Auges.

Machte das rechte Auge keine Einstellbewegung nach Verdecken des linken, so läßt man das linke wieder frei und beobachtet, ob

dieses nun eine Einstellungsbewegung macht; ist dies der Fall, so ist manifestes Schielen für die Ferne ausgeschlossen, latentes Schielen zugleich nachgewiesen (latente Konvergenz oder Divergenz, oder vertikales Schielen). Ferner ist damit zugleich das Vorhandensein eines Fusionsvermögens nachgewiesen, was bei Simulationsverdacht wichtig werden kann. Weiterhin ist dann noch I b und II zu prüfen.

Macht das wieder freigelassene linke Auge keine Einstellungsbewegung, so hat es entweder richtige Einstellung, die auch unter der deckenden Hand unverändert blieb, oder das linke Auge fixiert überhaupt nicht mit (Duane). Welche von diesen Möglichkeiten vorliegt, entscheidet die nunmehrige Verdeckung des rechten Auges: behält das linke Auge seine Stellung bei, so liegt normale Ruhestellung vor. Jetzt könnten nur noch dynamische Störungen der akkommodativen Augenbewegungen vorliegen, oder Beweglichkeitsstörungen, deren Wirkung sich für die Ruhestellung gerade ausgleicht, also etwa gleichstarke Lähmungen antagonistischer Muskel. Aufschluß über diese Möglichkeiten gibt die Stellungsprüfung bei Akkommodation (s. unter b) und die Beweglichkeitsprüfung.

Macht das linke Auge nach Verdecken des rechten ganz unsichere Bewegungen, ohne deutlich zu fixieren, so besteht kein binokulares Sehen, das linke Auge ist mindestens hochgradig sehschwach (analog wie das rechte Auge unter α) 3).

bb) Verfahren bei Stellungsabweichung des rechten Auges.

War bei Verdecken des linken Auges eine Einstellungbewegung des rechten Auges nachgewiesen, so handelt es sich noch darum, ob nach Freilassen des linken Auges das rechte Auge die übernommene Fixation eine Zeitlang beibehält, oder ob gleich das linke wieder die Fixation übernimmt. Im ersten Fall liegt alternierendes Schielen vor, im zweiten dauerndes Schielen des rechten Auges.

B. Prüfung der Meridianstellung.

Außer Stellungsabweichungen der Blicklinien sind auch noch latente Rollungsabweichungen der (Horizontal- oder) Vertikalmeridiane der Netzhaut möglich (vergl. S. 252). Solche lassen sich am einfachsten feststellen, wenn man nach Savage vor das eine Auge ein Prisma mit Kante unten oder oben (oder ein Doppelprisma, dessen Halbierungslinie horizontal vor die Mitte der Pupille gesetzt wird), und läßt nach einer horizontalen Linie sehen: ist das

durch das Prisma gesehene zweite Bild (oder Doppelbild) der horizontalen Linie dem andern Bild parallel, so liegt keine Rollungsabweichung vor; Senkung der Linien nach links entspricht einer latenten Rollung nach rechts, Senkung der Linien nach rechts einer Rollung nach links (relativ zum andern Auge). (Messung s. S. 292.)

b) Stellungsprüfung bei Akkommodation.

Dieselbe Art der Prüfung wie bei Akkommodationsruhe ist nun auch bei Akkommodation auf einen nahen Punkt, gewöhnlich etwa in 30 cm Abstand, auszuführen; der Vergleich der hierbei vorliegenden Verhältnisse — dynamisches Gleichgewicht, oder (dynamische oder manifeste) Konvergenz oder Divergenz — mit der vorher gefundenen Ruhelage giebt gewisse weitere Aufschlüsse. Wir wollen die bei Akkommodation gefundenen Stellungsverhältnisse kurz als Akkommodationsblickstellung bezeichnen.

α) Verhalten der Akkommodationsblickstellung bei normaler Ruhelage.

1. Ergiebt die Prüfung der Augenstellung bei Fixation eines nahen Punktes (Korrektion etwaiger Ametropie!) durch Verdecken und wieder Freilassen des einen und des anderen Auges (analog wie bei a) keine Stellungsabweichung, also dynamisches Gleichgewicht zwischen Akkommodation und Konvergenz, so sind die akkommodativen Augenbewegungen jedenfalls normal; ebenso sind nicht assoziierte Lähmungen sicher ausgeschlossen; höchstens eine assoziierte Blicklähmung wäre noch möglich, worüber die Beweglichkeitsprüfung sofort Aufschluß geben würde.

2. Besteht für die Nähe eine (manifeste oder latente) relative Divergenz, so kann eine reine Konvergenzstörung, oder eine anderweite Beweglichkeitsstörung vorliegen. Hierüber entscheidet die Beweglichkeitsprüfung (s. II. 𝔄), nach deren Ergebnis sich die weitere Untersuchung richtet.

3. Wird für die Nähe eine dynamische oder manifeste Konvergenz gefunden, so liegt (normale Ruhelage und Korrektion etwaiger H vorausgesetzt!) eine Störung der Akkommodation vor (s. S. 132).

β) Verhalten der Akkommodationsblickstellung bei Konvergenzruhelage.

1. Ergiebt die Stellungsprüfung für die Nähe ungefähr dieselben Verhältnisse wie für die Ferne, so liegt eine reine Konvergenz-

ruhelage, also manifestes oder latentes Einwärtsschielen ohne Beweglichkeitsstörung vor.

2. Ist für die Nähe eine geringere oder keine Konvergenzabweichung oder gar eine relative Divergenz vorhanden, so kommen zunächst die unter α) 2 besprochenen Möglichkeiten in Betracht; bei nur verringerter Konvergenzabweichung für die Nähe besteht aber noch die Möglichkeit eines Konvergenzkrampfes oder einer Divergenzlähmung (siehe S. 260).

3. Besteht für die Nähe eine stärkere Konvergenzabweichung als für die Ferne, so kann rein dynamisches Übergewicht der Recti interni über die Recti externi vorliegen (s. S. 254), oder eine Akkommodationsstörung; über die letztere Möglichkeit giebt die Prüfung der Akkommodationsbreite und der relativen Fusionsbreite Aufschluß (s. S. 101 und S. 132).

γ) Verhalten der Akkommodationsblickstellung bei gleichzeitiger Divergenzruhelage.

1. Annähernd gleiche Verhältnisse der Divergenz für die Nähe weisen auf unkomplizierte Divergenzruhelage.

2. Bei Steigerung der relativen Divergenz für die Nähe kommen die unter α) 2 erwähnten Möglichkeiten in Betracht.

3. Verringerung der Divergenz für die Nähe (oder Auftreten von Konvergenzabweichung) weist auf die unter α) 3 angeführten Störungen.

II. Die Prüfung der Beweglichkeit.

Wurde bei der Stellungsprüfung eine Abweichung gefunden, der außer einer reinen Stellungsanomalie und einer symmetrischen Beweglichkeitsstörung (dynamischen und konjugierten Konvergenzstörung) auch eine nichtkonjugierte Beweglichkeitsstörung zugrunde liegen kann, so prüft man zunächst, ob eine Störung der letzten Art vorliegt oder nicht. (Wo von vornherein eine Augenmuskellähmuug zu vermuten ist, nimmt man natürlich gleich diese Prüfung vor.)

A. Prüfung auf nichtkonjugierte Beweglichkeitsstörungen.

1. Prüfung der Primär- und Sekundärablenkung.

Den raschesten Aufschluß darüber, ob eine Stellungsabweichung durch eine nicht konjugierte Beweglichkeitsstörung bedingt ist, giebt die Vergleichung der Größe der Ablenkung bei abwech-

selndem Verdecken beider Augen, d. h. das Verhältnis zwischen „Primär- und Sekundärablenkung“.

Man verdeckt abwechselnd das eine und das andere Auge und vergleicht die Größe der Einstellungsbewegung der beiden Augen; macht das eine Auge eine größere Einstellungsbewegung als das andere, so liegt eine Beweglichkeitsstörung bei dem Auge vor, das die kleinere Einstellungsbewegung macht, und zwar eine Lähmung des oder der an der Einstellungsbewegung beteiligten Muskel. Die Abweichung des von der Lähmung betroffenen Auges, die „Primärablenkung“, ist geringer als die Abweichung des anderen Auges, die „Sekundärablenkung“ (vgl. S. 266).

Dabei ist es gleichgültig, welches Auge für gewöhnlich das fixierende ist; dieses kann auch das gelähmte sein, wie es zuweilen vorkommt (meist infolge besserer Sehschärfe); stets ist also das unter der deckenden Hand weniger abweichende Auge das gelähmte oder eventuell stärker gelähmte (vgl. S. 265 f). Ist dieses das gewöhnlich fixierende, so fixiert es in „Sekundärablenkung“.

Ist es zweifelhaft, ob eine verschiedene Primär- und Sekundärablenkung vorliegt, so kann man das Verhalten noch bei verschiedenen Augenstellungen prüfen, analog wie bei Prüfung der Doppelbilder (siehe unter 2.): Mit der Inanspruchnahme des oder der gelähmten Muskel wächst der Unterschied zwischen Primär- und Sekundärablenkung.

Schon allein hieraus kann man die Art irgend welcher Muskellähmung feststellen, was besonders bei Kranken in Betracht kommt, die über das Verhalten der Doppelbilder keine klare Auskunft geben können. Das Verhältnis zwischen Primär- und Sekundärablenkung entspricht ganz dem für die Lähmung bestimmter Muskel charakteristischen Verhalten der Doppelbilder. Die Kenntnis der Doppelbildertypen bildet also auch die Grundlage für die Beurteilung des Verhaltens der Primär- und Sekundärablenkung.

Auch bei doppelseitigen Lähmungen zeigt die Primär- und Sekundärablenkung bei verschiedenen Augenstellungen ein den charakteristischen Doppelbilderdistanzen entsprechendes Verhalten.

2. Prüfung der Doppelbilder.

Die Prüfung des Verhaltens der Doppelbilder giebt die genauste Auskunft über Art und Grad nichtkonjugierter Beweglichkeitsstörungen.

Die den verschiedenen Lähmungen entsprechenden Doppelbildertypen haben wir schon bei der Symptomatologie der Lähmungen geschildert. Hier genügen daher einige Anweisungen für die Ausführung der Prüfung.

Man läßt zunächst eine Lichtflamme in Mittellage, d. h. in der horizontalen Blickebene und der Medianebene, fixieren, und zwar auf etwa 4—6 m Abstand vor dunklem Hintergrund oder in halbverdunkeltem Raum. Vor das eine Auge (bei verschiedener S beider Augen vor das bessere) wird ein blaues oder rotes Glas gehalten, um die Bilder beider Augen leicht voneinander unterscheiden zu können.

Man führt dann das Licht bis etwa 30° nach links und ebenso weit nach rechts, läßt den Patienten mit dem Blick folgen, ohne daß er zugleich den Kopf dreht (den man auch von einem Gehilfen festhalten lassen kann), und angeben, ob bei irgend einer Stellung zwei Lichter gesehen werden, sowie ob das farbige Licht von dem anderen nach links oder nach rechts, nach oben oder nach unten abweicht, und ob der Seitenabstand der Doppelbilder, und ebenso ein etwaiger Höhenunterschied bei Blick nach rechts und nach links zu- oder abnimmt. Man verzeichnet dann das relative Verhalten der Bilder in Mittel-, Rechts- und Linkslage so, wie sie vom Patienten aus erscheinen.

Dann führt man das Licht um etwa 20° (und wenn hierbei noch keine Doppelbilder gesehen werden, noch weiter) nach unten, und stellt hier das Verhalten der Doppelbilder ebenfalls für Median-, Rechts- und Linkslage fest; ebenso verfährt man dann für eine um etwa 20° gehobene Blickebene. Wo etwa angegeben wird, daß ein Bild „näher“ steht als das andere, ist diese Angabe gleichbedeutend mit Tieferstehen, da das tieferstehende Bild meist näher lokalisiert wird, namentlich bei Annäherung des Objektes an den Fußboden.

Um genügende Hebung und Senkung der Blickebene zu erreichen, kann man den Kopf etwas vornüber und hintenüber neigen lassen.

Doppelbilder, die nur in den Grenzstellungen auftreten, sind bei Fehlen stärkerer Sekundärablenkung rein mechanisch oder dynamisch bedingt.

Unter Umständen ist es zweckmäßig, auf eine nähere Distanz, etwa 1 m, zu prüfen, z. B. bei hochgradiger Myopie, oder wenn bei Prüfung auf größere Distanzen gelegentlich gekreuzte Doppelbilder auftreten, ohne einen deutlichen Typus erkennen zu lassen (eine leichte Parese eines oder beider Recti interni macht sich bei Prüfung

auf nahe Distanz wegen der zugleich erforderlichen Konvergenz leichter bemerklich). Eventuell hebt man durch Vertikelprisma die Fusion auf.

3. Objektive Prüfung der Beweglichkeit.

Die objektive Prüfung der Beweglichkeit dient nicht nur zur Kontrolle der Doppelbilderprüfung, sondern sie ist in gewissen Fällen unentbehrlich, nämlich wenn nur ein Auge fixationsfähig ist und Doppelbilder nicht oder nur unsicher wahrgenommen werden.

a) Vergleich der Bewegungsausschläge beider Augen.

Beweglichkeitsstörungen eines Auges und auch nicht assoziierter Muskel beider Augen lassen sich verhältnismäßig genau durch Vergleich der Bewegungsausschläge beider Augen bei verschiedenen Blickrichtungen feststellen. Schon beim Fixierenlassen eines in verschiedenen Richtungen bewegten Fingers wird ein Zurückbleiben des einen Auges verhältnismäßig leicht bemerkt. Sicherer ist aber die Beurteilung, wenn der Untersuchende seine Nasenwurzel fixieren läßt und dann den Kopf des Patienten nach verschiedenen Richtungen dreht, und sie wird noch genauer, wenn man dabei die Lage eines Hornhautreflexes, z. B. den Reflex von einem gegenüberliegenden Fenster, oder noch besser im Dunkelzimmer den Reflex eines vor die Stirne (des Untersuchers) gehaltenen Lichtes oder des Augenspiegels im Verhältnis zur Pupille beider Augen beobachtet (Gullstrand). Weicht bei irgend einer Bewegungsrichtung die Lage des Hornhautreflexes in dem einen Auge in der Bewegungsrichtung der Augen ab, so ist eine dieser Bewegungsrichtung entsprechende Lähmung dieses Auges vorhanden; man kann die Größe der Reflexabweichung geradeso für verschiedene Blickstellungen vergleichen, wie die Doppelbilderabstände, und so ganz analog wie aus diesen die Lähmung bestimmter Muskel erschließen.

Bei dieser Prüfung kann es auch vorkommen, daß der Hornhautreflex sich in dem einen Auge in der Bewegungsrichtung des Kopfes (also entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung der Augen) verschiebt, in diesem Fall ist das richtig fixierende Auge (in dem der Reflex seine Stellung beibehält) das gelähmte, und das andere Auge steht in Sekundärablenkung; auch hier entspricht die Lähmungsrichtung der Bewegungsrichtung der Augen, bei welcher die Reflexabweichung auftritt, aber die Lähmung betrifft das nicht abweichende Auge. Von doppelseitigen Lähmungen assoziierter Muskel kommt bei dieser Prüfung nur die stärkere Lähmung zum Ausdruck.

b) Prüfung des Blickfeldes.

Bei Einäugigen ist die Blickfeldprüfung die einzig mögliche objektive Methode. Gröbere Einschränkungen lassen sich schon durch Fixierenlassen des bewegten Fingers finden; es läßt sich ungefähr beurteilen, ob die Bewegungsausschläge der Blicklinie nach beiden Seiten und nach unten entschieden weniger als 45°, nach oben weniger als 30° betragen (vgl. auch S. 241).

Genauer und für die Praxis genügend ist die Bestimmung am Perimeter: hierbei ist für möglichst gerade und ruhige Stellung des Kopfes zu sorgen. Man kann den Patienten einem in der Mitte eines Papierstreifens (Rezeptformulars) angebrachten Fixierpunkt folgen lassen, indem man den quer zum Perimeterbogen gehaltenen Papierstreifen dem Perimeterbogen entlang führt und dabei über der Mitte des hervorstehenden Endes des Papierstreifens (die man durch eine Kimme genau markieren kann) nach dem untersuchten Auge hin visiert und beobachtet, ob der Reflex des Papierstreifens in der Pupille immer genau diametral liegt (wie bei der Schielwinkelmessung am Perimeter vgl. S. 290); sobald der Reflex von der diametralen Stellung abweicht, ist die Grenze des Blickfeldes überschritten. Diese Prüfung läßt sich bequem für die verschiedenen Blickfeldmeridiane ausführen.

Man kann auch die Angaben des Patienten für die Blickfelduntersuchung benutzen, indem man als Fixierzeichen einen kleinen, eben noch zentral erkennbaren Buchstaben (oder ein kleines Wort) benutzt und vom Patienten angeben läßt, wann ihm der Buchstabe nicht mehr ganz deutlich erscheint.

Die exakteste, aber für die Praxis im allgemeinen weniger leicht verwendbare Methode der Blickfeldbestimmung ist die von Hering: Erzeugung eines dauerhaften fovealen Nachbildes, dessen Lage man auf einer vertikalen Glastafel angeben läßt, während der Untersuchte nach einer fernen Wand blickt und maximale Blickbewegungen ausführt.

4. Prüfung der Lokalisation.

Man kann sowohl die Richtungslokalisation, wie die Tiefenlokalisation (absolute Tiefenwahrnehmung) prüfen. Die Prüfung der Richtungslokalisation ist die einzige subjektive Methode, mit der Beweglichkeitsstörungen Monokularsehender nachgewiesen werden können. Die Prüfung der absoluten Tiefenwahrnehmung kann zum

Nachweis organischer Konvergenzstörungen nützlich sein, sie ist schon S. 157 besprochen.

Prüfung der Richtungslokalisation oder Projektion. Man bringt ein Fixierobjekt in verschiedene, den Zugrichtungen der einzelnen Muskel entsprechende Stellungen und läßt den Patienten rasch mit seinem Zeigefinger, den er zuerst vor der Brust hält, nach dem Objekt hinstoßen; bei Lähmung eines Muskels wird in der Zugrichtung des gelähmten Muskels an dem Objekt vorbeigestoßen, da es im Blickfeld zu weit nach der Peripherie hin lokalisiert wird. Langsame Bewegungen des stoßenden Fingers müssen vermieden werden, damit der Patient nicht Zeit hat, die falsche Bewegung zu bemerken und abzuändern. Fehlt die falsche Projektion bei objektiv nachweisbarem Bewegungsdefekt, so liegt eine angeborene (oder sehr veraltete) Lähmung vor.

B) Prüfung auf reine Störungen der konjugierten Bewegungen.

Störungen der Bewegungen nach einer Seite oder nach oben oder unten sind stets zugleich allgemeine Beweglichkeitsstörungen; sie charakterisieren sich zunächst dadurch als assoziierte Störungen, daß die Beweglichkeitsbeschränkung für beide Augen genau gleich ist; die objektive Prüfung der Beweglichkeit und die Prüfung der Projektion sind bei ihnen auch anwendbar, nicht dagegen die Prüfung auf Doppelbilder und die Prüfung des Verhältnisses zwischen Primär- und Sekundärablenkung.

Zwischen assoziierten Lähmungen nach oben oder unten und genau gleichstarken doppelseitigen Lähmungen der Heber und Senker ist praktisch bis jetzt ein Unterschied nicht zu treffen; ob solche Störungen auch durch supranukleare Läsionen (sei es besonderer Koordinationszentren oder der von den Großhirnhälften zu den Kernen der Heber und Senker ziehenden Bahnen) bedingt sein können, würde sich erst entscheiden lassen, wenn Fälle beobachtet würden, bei denen die willkürlichen assoziierten Bewegungen aufgehoben, aber die bei passiven (oder event. auch aktiven) Kopfdrehungen erfolgenden Kompensationsbewegungen erhalten wären (vergl. S. 261), so daß Kernlähmung auszuschließen wäre.

Bei den assoziierten Seitenbewegungen ist der Charakter der Assoziationsstörung dadurch gesichert, daß die Konvergenzwirkung des für die Seitenwendung gelähmten Rectus internus erhalten ist.

Gelegentlich kann durch eine assoziierte Blicklähmung eine reine Abduzenslähmung vorgetäuscht werden, indem der dem gelähmten Rectus externus assoziierte Rectus internus dem Fixierobjekt mittels eines Konvergenzimpulses folgt; dies ist aber daran zu erkennen, daß sich mit der Bewegung eine Pupillenverengerung beider Augen und eine Adduktionsbewegung auch des andern Auges verbindet. So erklären sich auch, wie J. A. Jefferies hervorhob, die mehrfach beobachteten Fälle von Blicklähmung, wo das Auge mit dem assoziiert gelähmten Internus eine Adduktionsbewegung ausführen konnte, wenn das andere Auge verdeckt wurde, also kein Doppeltsehen den zum Weiterfixieren erforderlichen Konvergenzimpuls mehr störte.

Durch Erhaltensein der Konvergenz unterscheidet sich die Kombination einer assoziierten Lähmung der Linkswendung mit einer solchen der Rechtswendung von einer doppelseitigen Lähmung der Recti interni und externi.

Isolierte Konvergenzlähmung liegt vor, wenn, bei erhaltenen Seitenblickbewegungen, für die Ferne in der Medianebene binokulare Einstellung möglich ist, nicht aber für die Nähe; gewöhnlich stellt sich dabei ein Auge mittels eines Links- oder Rechtswendungsimpulses auf das nahe Objekt ein; daß es sich hierbei nicht um isolierte Lähmung nur des anderen Rectus internus für die Konvergenz handelt, läßt sich dadurch zeigen, daß nach Verdecken des fixierenden Auges sich das andere Auge mittels Seitwärtsbewegung einstellt, und das verdeckte Auge nun ebenso weit auswärts abweicht, als vorher das andere Auge, und dann die Steigerung der Akkommodation bei Annäherung des Objekts nicht mit entsprechender Adduktion begleitet.

Über die Unterscheidung zwischen Konvergenzlähmung und Konvergenzschwäche, sowie zwischen organischer und hysterischer Konvergenzlähmung ist S. 257 f. das Nötige gesagt.

Ist nur ein Rectus internus funktionsfähig und ist dessen Kontraktion stets von Pupillenverengerung und Akkommodationsanspannung begleitet, so liegt assoziierte Lähmung der Rechts- und Linkswendung nebst partieller Konvergenzlähmung (Erhaltensein der Konvergenzbewegung eines internus) vor.

Ist bei erhaltenen Seitenbewegungen nur für die Nähe binokulare Einstellung möglich, für die Ferne nicht, so ist durch weitere Prüfung zu entscheiden, ob Divergenzlähmung oder Konvergenzkrampf vorliegt, was bereits S. 260 besprochen ist.

III. Quantitative Bestimmung von Stellungsabweichungen.

A. Messung von Schielablenkungen.

Alle Stellungsabweichungen der Blicklinien, bei denen das zentrale Sehen auf beiden Augen genügend erhalten ist, lassen sich (gleichgültig, ob die Abweichung eine reine Stellungsanomalie oder durch eine Beweglichkeitsstörung bedingt ist) für bestimmte Stellungen des Fixierobjektes auf Grund des von Graefe'schen Gleichgewichtsversuchs, event. unter Verwendung des Maddox'schen Stäbchens, nach S. 121 ff. besprochenen Methoden quantitativ bestimmen; nur bei Fällen von Begleitungsschielen mit anomaler Korrespondenz der Netzhäute sind diese Methoden nicht brauchbar. Für diese Fälle, sowie für alle Fälle, bei denen — auch mittels des Maddox'schen Stäbchens — keine getrennten Sehbilder für beide Augen hervorzurufen sind, ist die objektive Messung am Perimeter am Platze.

a) Schielwinkelmessung am Perimeter.

Um den Einfluß des Winkels γ auf den scheinbaren Schielwinkel auszuschalten, ist zuerst der Winkel γ des Schielauges selbst zu messen.

Bestimmung des Winkels γ. Das zu prüfende Auge fixiert den Nullpunkt des horizontal gestellten Perimeterbogens. Das andere Auge wird verbunden. Der Untersucher hält vor dem Perimeterbogen ein Licht, visiert über dessen Spitze weg die Pupille des Untersuchten, und sucht nun die Stellung für das Licht, bei welcher dessen Hornhautreflexbild genau in der Mitte der Pupille zu liegen scheint (s. Fig. 81). Die gefundene Stellung des Lichts zeigt die Stelle des Perimeterbogens, wo dieser von der optischen Achse des untersuchten Auges getroffen wird. Gewöhnlich liegt diese Stelle, vom fixierenden Auge aus gerechnet, temporal vom Fixierpunkt, da die Blicklinie nasalwärts von der optischen Achse durch die Hornhaut geht (vergl. S. 241); man bezeichnet in diesem Fall den Winkel γ als positiv, im entgegengesetzten Fall als negativ. Er beträgt bei Emmetropen gewöhnlich etwa 5^0, bei Hypermetropen mehr, bei Myopen weniger, hier kann er auch negativ werden.

Man läßt jetzt zur Messung des Schielwinkels das andere Auge frei, so daß dieses den Nullpunkt des Perimeters fixiert und das zu prüfende Auge seine Schielstellung einnimmt. Die

Schielabweichung wird dann ganz in derselben Weise gemessen, wie vorher der Winkel γ. Statt des Lichts kann man hier ebenso gut ein schmales und langes Papierblatt benutzen, wie bei der Blickfeldmessung (s. S. 287).

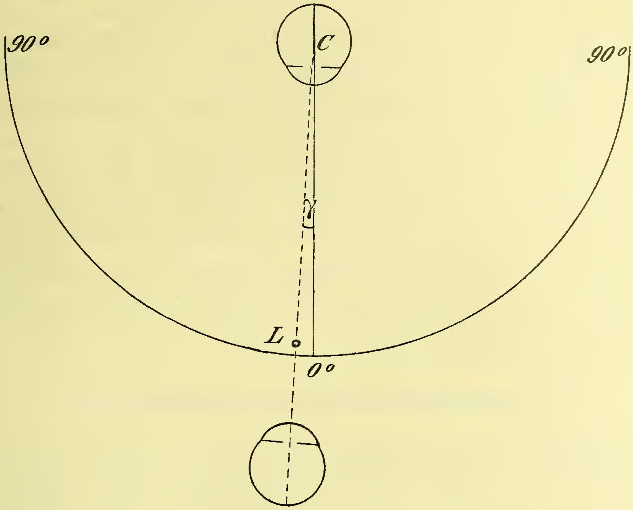


Fig. 81.

Bei Einwärtsschielen muß man, da die Blicklinie um den Winkel γ weiter nasal liegt, als die bei der Schielwinkelmessung bestimmte optische Achse, den Winkel γ zu dem gemessenen Schielwinkel addieren, um den wahren Schielwinkel zu bekommen (unter Voraussetzung eines positiven Winkels γ). Bei Auswärtsschielen kommt der Winkel γ in Abzug. (Umgekehrt bei negativem Winkel γ.)

b) Bestimmung des Schielwinkels nach Tschermak bei anomaler Korrespondenz der Netzhäute.

Bei dem Versuch, eine Schielablenkung mit Prismen zu bestimmen, findet man zuweilen eine „paradoxe Lokalisation“, indem bei Konvergenzschielen nach Vorsetzen adduzierender, aber das Schielen noch nicht ganz ausgleichender Prismen (Abduktionseinstellung nach Verdecken des fixierenden Auges) gekreuzte Doppelbilder angegeben werden. In solchen Fällen handelt es sich um eine anomale Korrespondenz der Netzhäute, die durch ein von Tschermak angegebenes Verfahren bestimmt nachgewiesen und auch dem Grad nach bestimmt werden kann.

Der Nachweis anomaler Korrespondenz geschieht dadurch, daß man das eine Auge eine kleine horizontale, und dann das andere eine kleine vertikale helle Linie (am besten einen kurzen Glühdraht) einige Sekunden fixieren läßt, so daß sich in jedem Auge ein länger dauerndes Nachbild entwickelt, und nun sofort auch das erste Auge wieder öffnen und beide Augen auf einen Schirm blicken läßt. Bei anomaler Korrespondenz werden die beiden Nachbilder getrennt voneinander gesehen. Die Foveae haben also keine gemeinsame Sehrichtung. Man kann nun, während das eine Auge einen bestimmten Punkt fixiert, mit vertikalem Stab die Stelle aufsuchen, wo er mit dem Nachbild des anderen Auges zusammenfällt. Hat man auf dem weißen Schirm eine horizontale Skala angebracht, so läßt sich die Größe der Ablenkung unmittelbar messen.

Bei normaler Korrespondenz kombinieren sich die beiden Nachbilder zu einem Kreuz.

B. Messung von Rollungsabweichungen.

Am einfachsten ist die Messung mit einem Satz von Maddoxstäbchen, der vertikal in ein graduiertes Brillengestell gesetzt wird; der Patient sieht nach einer fernen, in Mittellage befindlichen Flamme, an der Wand wird zweckmäßig zum Vergleich eine horizontale Linie angebracht. Erscheint der mit Maddoxstäbchen gesehene Lichtstreif nicht genau horizontal (parallel der vom andern Auge gesehenen Horizontallinie), so dreht man den Stäbchensatz, bis der Lichtstreif genau horizontal erscheint. Die ausgeführte Drehung gibt Richtung und Grad der Rollungsabweichung an.

Genauer ist die Messung mittelst eines auf dreifüßigem Gestell angebrachten langen Maddoxstabes, der in der Verlängerung seiner Achse einen vor einem Gradbogen sich bewegenden Zeiger trägt; der Stab ist um einen horizontalen Zapfen drehbar und wird vor der Prüfung genau vertikal gestellt (mittelst Lots und Fußschrauben); man sucht dann die Stellung des Stabes, bei welcher der Lichtstreif genau horizontal steht. Bei dieser Prüfung machen kleine Kopfbewegungen keine Störung.

Kompliziertere „Klinoskope“ und „Torsiometer“ wurden von Stevens und anderen konstruiert, mit denen sich auch die „Rollungsfusion“ bequem messen läßt (sie beruhen meist auf einem schon von Volkmann angewandten Prinzip der stereoskopischen Rollungsbestimmung).

II. Kapitel. Leistungen des Lidbewegungsapparates.

A. Die normalen Lidbewegungen.

Die Öffnung der Lider geschieht in der Hauptsache durch den Musculus levator palpebrae, der vom Nervus oculomotorius innerviert wird. Seine Wirkung wird unterstützt durch den in der Fascia tarsoorbitalis verlaufenden glatten Müllerschen Lidmuskel, Musculus tarsalis superior, der vom Sympathikus innerviert wird; ein analoges Bündel glatter Muskelfasern, Musc. tarsal. inferior, liegt an der unteren Seite des Rectus inferior und setzt sich an den unteren Tarsus an, es wird gleichfalls vom Sympathikus innerviert. Der Lidheber hat mit den beiden glatten Muskeln zusammen die Aufgabe, die Lidspalte so weit zu halten, daß das Gesichtsfeld bei den verschiedensten Stellungen der Augen nicht durch die Lidränder eingeengt wird. Normalerweise wird vom oberen Lide ein ganz schmales Segment der Hornhaut bedeckt, der Rand des unteren schneidet ungefähr gerade am unteren Hornhautrand ab. Augenbewegungen nach oben und unten werden von beiden Lidern begleitet, unter entsprechender Spannung und Erschlaffung der Öffnungsmuskel. Den Bewegungen nach oben kann aber das untere Lid nur bis zu einem gewissen Grade folgen. Bei diesen Mitbewegungen der Lider wirken auch Faserverbindungen von den Sehnen des Rectus superior und Rectus inferior zum oberen und unteren Lid mit.

Eine indirekte Unterstützung erfährt der Lidheber, aber nur in Fällen von mangelhafter Wirkung, durch den vom Facialis innervierten Musc. frontalis.

Der Lidschluß wird durch Kontraktion des Musc. orbicularis palpebrarum bewirkt, dessen Wirkung durch den Musc. orbicul. orbitae verstärkt werden kann. Beide Muskel werden vom Facialis innerviert.

Der Lidschluß erfolgt sowohl willkürlich wie reflektorisch, letzteres hauptsächlich durch Reizung des Augenastes des Trigeminus, ferner durch Lichtreize der Netzhaut, endlich durch heftige psychische Eindrücke (Erschrecken). Eine normale periodische Reflexbewegung ist der gewöhnliche Lidschlag (das gewöhnliche Blinzeln), der durchschnittlich etwa 5—10 mal in der Minute in Form eines kurzen Schlusses und sofortiger Wiederöffnung der

Lider erfolgt; die Lidöffnung läuft langsamer ab als der Schluß (S. Garten).

Beim reflektorischen Lidschlag bleibt die Augenstellung unverändert; bei willkürlichem sowie bei intensivem, durch besondere Reize ausgelöstem reflektorischen Schluß findet eine Bewegung der Augen nach oben (Bellsches Phänomen) sowie eine Verengerung der Pupillen statt (die aber nur unter gewissen Bedingungen nachweisbar ist, s. S. 214).

B. Störungen der Lidbewegungen.

Wir teilen die Störungen der Lidbewegungen nach den Störungen ihrer Bewegungskräfte ein.

1. Störungen der Lidöffner.

a) Lähmungsstörungen.

Bei Lähmung des **Levator palpebrae** ist das obere Lid mehr oder weniger stark herabgesunken und schlaff, was wir als **Ptosis** bezeichnen, bei vollständiger Lähmung ist die Lidspalte ganz verschlossen, sie kann aber durch willkürliche Kontraktion des Musc. frontalis ein wenig geöffnet werden; bei doppelseitiger Lähmung (oder Lähmung bei einem monokular fixierenden Auge) beugt der Patient den Kopf stark rückwärts, um einen Teil der Pupille in die Lidspalte zu bringen.

Einträufeln von Kokain und mehr noch von Adrenalin (oder beiden zusammen) bewirkt mittels Reizung der glatten Muskel eine deutliche Erweiterung der Lidspalte. Bei längerer Dauer einer durch peripherische Oculomotoriuslähmung bedingten Ptosis wird der Levator (etwa 2—3 Wochen nach Beginn der Lähmung) galvanisch reizbar, im Unterschied von nuklearen und fascikulären Lähmungen (W. Salomonson).

Eine schlaffe Ptosis, die der Lähmung des Levator gleicht, kann auch bei Hysterie auftreten; es handelt sich aber hier nur um eine Willenslähmung, analog der Schlafptosis; der unwillkürliche Augenaufschlag, wie er durch unvermutete Lichteindrücke von oben ausgelöst wird, erfolgt dabei in normaler Weise, doch senkt sich das Lid gleich wieder, wie ich bei einem Fall deutlich beobachten konnte.

Lähmung des **Musc. tarsalis sup.** bewirkt eine leichte oder mäßige Ptosis, so daß durch den Levator das obere Lid noch un-

gefähr bis zum oberen Pupillenrand gehoben werden kann. Cokain und Adrenalin bewirken keine stärkere Erweiterung der Lidspalte, wenn die Lähmung schon längere Zeit besteht. Da diese Störung durch eine Sympathikusaffektion bewirkt wird, bezeichnet man sie auch als **Sympathikusptosis.**

Eine Lähmungsptosis kann durch mechanische Umstände vorgetäuscht werden (mechanische Pseudoptosis) (Lidschwellung, narbige Verwachsung des Lides mit der Bindehaut).

b) Krampfstörungen.

Spasmus der Lidheber bewirkt übergroße Weite der Lidspalte, die Lider können aber dabei gut geschlossen werden; doch bleibt bei sanftem Lidschluß oft ein kleiner Spalt frei. Ob die Erweiterung der Lidspalte durch Spasmus des Levator oder des Müllerschen Muskels bedingt ist, läßt sich oft nicht bestimmt entscheiden. Anderweite Zeichen von Sympathikusreizung, vor allem spastische Mydriasis (ferner halbseitiges Schwitzen und Blässe auf der affizierten Gesichtshälfte), weisen auf Spasmus des Müllerschen Muskels, fehlen solche Zeichen, so ist ein Spasmus des Levator anzunehmen. Vielleicht könnte gelegentlich eine Unterscheidung durch Einträufeln von Adrenalin-Cokain ermöglicht werden, indem bei sanftem Lidschluß nach dem Einträufeln (etwa 20 Minuten warten!) die Lidspalte deutlich mehr geöffnet sein dürfte, wenn es sich um gesteigerten Tonus des Levator handelt, als wenn der Müllersche Muskel kontrahiert ist, da im ersten Fall zu dem gesteigerten Levatortonus noch eine Reizung des Müllerschen Muskels hinzu kommt, während im zweiten Fall der ohnehin schon kontrahierte Müllersche Muskel durch die Medikamentwirkung keine wesentliche Kontraktionssteigerung mehr erfahren dürfte.

Vorübergehend tritt abnorm weite Öffnung der Lidspalte sozusagen als „Sekundärablenkung“ bei Lähmung von Hebungsmuskeln des Auges auf, indem hier bei Blickhebung der verstärkte Hebungsimpuls in einer verstärkten assoziierten Lidhebung zum Ausdruck kommt (ähnlich der Sekundärablenkung eines Auges); ferner bei psychischen Erregungen (Affekten), endlich gelegentlich als abnorme Mitbewegung bei Bewegungen des Unterkiefers (hier ein- oder doppelseitig, mutmaßlich durch abnormen Zusammenhang des Levatorkerns mit dem Trigeminuskern). Über periodische Kontraktur des Lidhebers und Rect. int. bei angeborener Okulomotoriuslähmung s. S. 277.

Dauernd sehen wir abnorm weite spastische Öffnung vor allem bei Sympathikusreizung, hier also stets durch den glatten Muskel bewirkt; ferner bei Basedowscher Krankheit; auch bei dieser dürfte in der Regel Spasmus des glatten Muskels vorliegen, wiewohl auch ein Spasmus des Levator, wenigstens in manchen Fällen, möglich ist. Mit dieser abnormen Weite der Lidspalte bei Basedowscher Krankheit ist gewöhnlich auch eine Störung der Mitbewegung des Oberlides verbunden, indem bei Blicksenkung das Lid zuerst zurückbleibt und dann ruckweise nachfolgt (v. Gräfesches Zeichen); wenn das Auge dann wieder gehoben wird, sieht man oft umgekehrt das obere Lid ruckweise vorauseilen. Diese Erscheinung wird von den meisten auf Spasmus des Müllerschen Muskels zurückgeführt; sie könnte aber auch durch wirkliche Koordinationsstörung bedingt sein (Sattler).

2. Störungen des Lidschließers.

a) **Lähmung des Schließmuskels** hat abnorme Weite der Lidöffnung mit erschwertem Lidschluß zur Folge; bei völliger Lähmung ist vollständiger Augenschluß unmöglich, das Auge bleibt stets auch im Schlaf mindestens teilweise geöffnet (Lagophthalmus); beim Versuch, das Auge zu schließen, treten stets sekundäre Mitbewegungen des Musc. frontalis auf, ferner tritt dabei das Bellsche Phänomen in Erscheinung, indem die Augen eine Bewegung nach oben und außen machen, wenn die Facialislähmung nicht durch Großhirnherde bedingt ist; bei Großhirnlähmungen fehlt nach Marguliès und H. E. Hering das Bellsche Phänomen.

Isolierte Lähmung des Augenfacialis ist meist durch Kernerkrankung bedingt (während umgekehrt Freibleiben des Augenastes bei Lähmung des Gesichtsfacialis auf Lähmung durch Großhirnherd hinweist). Die Kombination der Facialislähmung mit andern Symptomen giebt gewöhnlich genügende Anhaltspunkte für den Sitz der Erkrankung; im Zweifelsfall weist Entartungsreaktion auf peripherische oder Kernlähmung.

b) **Krampf des Schließmuskels** kann in tonischer und in klonischer Form auftreten.

α) Tonischer Lidkrampf, Blepharospasmus, bewirkt mehr oder minder langdauernden vollständigen oder unvollständigen Verschluß der Lidspalte, diese kann aktiv nur wenig oder gar nicht geöffnet werden, meist sieht man zitternde Bewegungen des Lides oder fibrilläre Zuckungen, die sich beim Versuch, das Auge zu

öffnen, in der Regel steigern. Versucht man das Lid mit dem Finger zu heben, so fühlt man einen deutlichen Widerstand. Die Augenbraue steht zugleich tiefer, was bei einseitigem Krampf besonders deutlich hervortritt, wenn der Kranke aufgefordert wird, die Augen zu öffnen; er macht dann Frontaliskontraktionen, durch welche die Augenbraue auf der gesunden Seite viel stärker gehoben wird.

Tonischer Lidkrampf wird am häufigsten reflektorisch durch Reizung des Trigeminus bei Augenentzündungen, und durch Optikusreizung bei gesteigerter Lichtempfindlichkeit (Lichtscheu) ausgelöst; ferner kann er durch krankhafte Reizung des Facialis an irgend einer Stelle seines Verlaufes bedingt sein; endlich kann er rein funktionell auftreten, vor allem bei Hysterie, außerdem als Teilerscheinungen allgemeiner Krämpfe bei Epilepsie, Chora, Tetanus. Der früher sog. „essentielle Lidkrampf", wie der Lidkrampf bei Abwesenheit reflexerregender Ursachen genannt zu werden pflegte, dürfte meist hysterischer Natur sein.

Der hysterische Lidkrampf ist zuweilen nur mäßig ausgesprochen, sodaß selbst die Zuckungen der Lider kaum merklich sind, diese steigern sich aber bei Aufforderung die Augen zu öffnen, sowie beim Blick nach oben, was für den hysterischen Krampf charakteristisch ist und diese Form, „spastische Ptosis", von der schlaffen Form der hysterischen Ptosis unterscheidet.

β) Klonischer Lidkrampf, Nictitatio oder Blepharospasmus nictitans, tritt in Form einzelner mehr oder minder kräftiger Lidschlußzuckungen oder auch lediglich in Form sehr lebhaften und häufigen Blinzelns auf. Meist ist er Teilerscheinung eines allgemeinen Facialiskrampfes, des sog. Tic convulsif, der ebenfalls reflektorisch bedingt sein oder auf organischer Reizung des Facialis oder auf rein funktioneller Grundlage beruhen kann.

Außer peripherischer reflektorischer Reizung dürfte hier Hysterie entschieden am häufigsten sein, namentlich wenn klonischer und tonischer Krampf sich kombinieren, indem bald mehr einzelne kurze, bald mehr andauernde Kontraktionen des Lidschließers auftreten.

3. Reine Störungen des reflektorischen Lidschlages.

Der normale Lidschlag tritt zuweilen abnorm selten auf, so besonders bei Basedow'scher Krankheit (Stellwags Symptom), und bei Herabsetzung der Sensibilität des Trigeminus; im ersten Fall erfolgt der Lidschlußreflex bei Berührung der Binde-

haut oder Hornhaut in normaler Weise, im zweiten Fall ist er herabgesetzt. Dies kann auch bei hysterischer Anästhesie der Fall sein.

Völliges Fehlen des Lidschlußreflexes bei Berührung des Augapfels tritt bei vollständiger Anästhesie der Augapfeloberfläche auf (so auch nach Cokainwirkung!); der gewöhnliche Lidschlag ist dabei erhalten, wenn die Trigeminusanästhesie einseitig ist.

Anhang. Simulation von Sehstörungen.

Der sichere Nachweis der Simulation von Sehstörungen erfordert die volle Beherrschung der Methoden der Funktionsprüfung sowie der objektiven Untersuchung des Auges (namentlich mit dem Augenspiegel), vor allem, um ein sicheres Urteil darüber zu haben, ob und wieweit angegebene Sehstörungen objektiv bedingt sein können.

Bei allen Untersuchungen muß der Arzt sich stets den Anschein geben, als ob er den Angaben des Untersuchten vollen Glauben schenke. Der Prüfung auf Simulation muß stets eine genaue objektive Untersuchung vorausgehen. Von den zahlreichen Methoden zur Entlarvung der Simulation verschiedener Störungen wollen wir hier nur die wichtigsten und zweckmäßigsten anführen, mit denen man im allgemeinen stets auskommen dürfte. Im einzelnen Fall wird der Untersuchende je nach der Sachlage diese oder jene geeignete Abänderung einer Prüfungsmethode selbst vorzunehmen wissen.

I. Simulation einseitiger Blindheit und Schwachsichtigkeit.

1. Durch Prüfung der Lichtreaktion der Pupillen kann man sofort feststellen, ob ein angeblich blindes Auge reflexempfindlich ist oder nicht; liegt gute Reflexempfindlichkeit vor, also gute Reaktion mindestens einer Pupille bei Lichteinfall in das angeblich blinde Auge, so ist völlige Blindheit organischer Natur sicher ausgeschlossen (über die Möglichkeit hysterischer Blindheit s. u.), es

könnte aber immerhin eine mehr oder minder starke Herabsetzung des Sehvermögens dabei vorhanden sein.

2. Durch die folgende Prüfung läßt sich entscheiden, ob binokulares Sehen vorliegt oder nicht: man läßt ein vertikales Objekt, etwa große Lichtkerze, fixieren, und setzt nun vor das gute Auge ein adduzierendes Prisma von etwa 10°, oder noch besser, wenn man eine Prismenleiter zur Hand hat, successive stärkere Prismen, bis etwa 12° oder mehr, und beobachtet, ob dabei das angeblich blinde Auge seine fixierende Stellung beibehält; ist dies der Fall, so ist sicher Binokularsehen vorhanden; macht es aber eine der Adduktion des mit Prisma bewaffneten Auges assoziierte Abduktionsbewegung, ohne wieder in die Fixierstellung zurückzugehen, so ist zugleich nachgewiesen, daß das gute Auge allein fixiert, also kein Binokularsehen besteht. (Es ist sicherer, das Prisma vor das gute Auge zu halten, als vor das angeblich blinde, da der Patient im letztern Falle doch möglicherweise die Fusionsbewegung unterdrücken könnte, namentlich wenn tatsächlich eine Sehschwäche des „blinden" Auges vorliegt. Beim Vorsetzen vor das gute Auge muß der Patient aber eine Einstellungsbewegung machen, da er sieht, daß durch Vorsetzen des Glases vor das gute Auge eine Scheinverschiebung des Gegenstandes eintritt; diese Einstellungsbewegung ist zwar auch mit einem kleinen assoziierten Ruck des anderen Auges verbunden, der aber sofort wieder korrigiert wird.) Diese Fusionsprüfung beweist zugleich, daß auf dem angeblich blinden Auge ein für das Binokularsehen genügendes Sehvermögen vorhanden sein muß, d. h. mindestens etwa 1/10.

3. Während der Patient mit beiden Augen nach einer Sehprobe sieht, beschäftigt man sich anscheinend nur mit dem guten Auge und setzt diesem nun ein Prisma von etwa 16° mit Kante unten vor und sagt zugleich bestimmt, daß der Patient jetzt zwei Tafeln übereinander sieht (hierzu dürfen die Sehproben nicht zu hoch sein, die Schweigger'schen Tafeln oder eine Sehprobe in Buchform eignen sich gut); leugnet der Patient das Sehen zweier Tafeln nicht ab, so läßt man die obere Tafel lesen und bestimmt so gleich die S des angeblich blinden Auges (A. v. Graefe). Behauptet der Patient nur eine Tafel zu sehen, so hält man das Prisma so, daß die Basis (oder die Kante) gerade vor der Mitte der Pupille steht, also mit diesem Auge allein schon doppelt gesehen wird; Ableugnen des Sehens zweier Tafeln würde jetzt den Patienten überführen, man braucht dann nur das andere Auge zu verdecken, um ihm zu

beweisen, daß er thatsächlich zwei Tafeln sieht. Man läßt jetzt auf der oberen, von beiden Augen gesehenen Tafel lesen und schiebt dann gelegentlich unvermerkt das Prisma in die Höhe, so daß er die obere Tafel nur noch mit dem Simulationsauge sehen kann, liest er weiter, so ist die Sehfähigkeit des Auges bewiesen, und man kann auch gewöhnlich seine Sehschärfe bestimmen.

4. Man setzt vor das gute Auge ein starkes Konvexglas, etwa von 6 D, vor das andere Auge ein Planglas oder + 0,25, und läßt zunächst feine Schrift in etwa 15 cm Entfernung lesen; man bringt dann unvermerkt die Leseprobe in größeren Abstand, etwa 25 cm, also wesentlich über den künstlichen Fernpunkt des mit dem starken Glas bewaffneten Auges hinaus; liest der Patient noch dieselbe Schrift (oder nur wenig größere, aber vom myopisch gemachten Auge nicht mehr lesbare — was man mit eigenem, entsprechend bewaffnetem Auge kontrollieren kann), so hat er sie mit dem angeblich schlechten Auge gelesen.

5. Prüfung mit dem Stereoskop. Indem man stereoskopische Bilder anwendet, deren Hälften aus verschiedenen Teilen bestehen, die zum Teil von beiden, zum Teil nur vom linken oder vom rechten Auge gesehen werden, kann man ebenfalls die Sehfähigkeit und auch die etwaige Sehschärfe eines angeblich schlechten Auges feststellen; sehr zweckmäßige Proben sind hierfür von Schmidt-Rimpler angegeben. Zu dieser Prüfung eignet sich am besten das „amerikanische Stereoskop", bei dem die Bilder nicht in einem Kasten stecken, sondern auf einem medianen Stab in der geeigneten Distanz eingestellt werden, so daß der Arzt die Augen des Patienten dabei von der anderen Seite her beobachten und kontrollieren kann, ob nicht etwa das eine Auge zugekniffen wird. Zur Bestimmung der S ist es besser, die konvex geschliffenen Stereoskopprismen durch einfache Adduktionsprismen zu ersetzen.

6. Sehr zweckmäßige „Tafeln zur Entlarvung der Simulation einseitiger Blindheit und Schwachsichtigkeit" wurden von v. Haselberg nach einem schon von Snellen benutzten Prinzip herausgegeben. Die Buchstaben sind so aus schwarzen und roten Strichen zusammengesetzt, daß auch die schwarzen Striche allein einen Buchstaben darstellen. Man hält vor das gute Auge ein rotes und vor das angeblich schlechte Auge ein grünes Glas, mit dem die roten Buchstabenteile auch schwarz erscheinen (die farbigen Gläser sind ebenfalls von der Buchhandlung — Bergmann, Wiesbaden — zu beziehen). Der Patient kann dann nicht unter-

scheiden, was er mit dem einen und mit dem anderen Auge sieht, er sieht, wenn das Simulationsauge nicht wesentlich schlechtere Sehschärfe hat, nur die „Vollbuchstaben", und die S kann gut bestimmt werden. Die Tafel darf erst aufgedeckt werden, wenn der Patient die Brille auf hat, und nach jeder Prüfung ist sie sofort wieder zu verdecken.

Die angegebenen Proben dürften genügen, um auch in Fällen von Aggravation, d. h. bloßer Übertreibung einer thatsächlich vorhandenen einseitigen Sehschwäche, zum Ziel zu führen. Bei der zuletzt angeführten und auch bei anderen Proben kann dann die S des besseren Auges durch Vorsetzen von grauen Gläsern oder schwachen Zylindern u. s. w. ebenfalls entsprechend abgeschwächt werden, damit die Sehbilder für beide Augen möglichst gleiche Deutlichkeit haben.

Die unter III angeführte Methode von Helmbold ist bei Simulation einseitiger Sehschwäche ebenfalls sehr zweckmäßig.

II. Simulation doppelseitiger Blindheit.

Doppelseitige Blindheit vorzutäuschen dürfte niemand lange aushalten; meist ist doppelseitige Blindheit, die den Eindruck der Simulation macht, hysterischer Natur. Der wirkliche Simulant wird sich bei längerer und möglichst unauffälliger Beobachtung meist bald durch unwillkürliche Blickbewegungen auf unvermutete Lichteindrücke und gelegentliches Stutzigwerden oder Ausweichbestrebung vor Hindernissen verraten (was zwar wohl auch beim hysterisch Blinden möglich ist, aber sonstige Zeichen ausgeprägter Hysterie werden hier stets zu finden sein).

III. Simulation doppelseitiger Sehschwäche.

Diese Form der Simulation macht die meisten Schwierigkeiten Das Hauptprinzip ist hier, zunächst für ein Auge eine immer höhere Sehschärfe herauszubringen, und dann das andere mit den unter I angeführten Methoden auf dieselbe S zu bringen, die man mit dem anderen Auge erreicht hat.

Zur allmählichen Erhöhung der S mindestens des einen Auges wendet man verschiedene Sehproben in verschiedenen Entfernungen an, so daß der Patient in seinem Urteil unsicher wird, was seiner angeblichen Sehschwäche noch entspricht oder nicht.

Meist dürfte man am besten mit der Anwendung des Spiegels nach Helmbold zum Ziel kommen. Man hängt in der gewöhnlichen Entfernung von 4—6 m Leseproben auf, solche gewöhnlicher Art, und solche, die deren Spiegelbild darstellen (man kann dafür auch die Snellenschen Haken, oder noch besser die „Kinderproben" von Lotz benutzen, s. S. 79), und läßt nun, nach Korrektion einer etwaigen Ametropie, den Patienten lesen, soweit er kommt; jetzt dreht man ihn um, so daß er die Proben in einem an der Wand hängenden Spiegel sieht, der sich halb so weit von ihm wie die Leseproben befindet; der Patient wird sich nicht bewußt sein, daß das Bild der Proben jetzt im ganzen doppelt so weit entfernt ist, und wird wieder dieselben Reihen wie vorher (oder eine nur wenig größere) lesen, hat also dann die doppelte (oder annähernd doppelte) der zuerst angegebenen Sehschärfe. Bei dieser Probe kann für jedes einzelne Auge ohne weiteres oder eventuell mit „Zureden" die wahre S ermittelt werden.

Bei jeder Simululationsprüfung ist daran zu denken, daß möglicherweise Hysterie vorliegen kann. Wichtig ist, daß der hysterische Schwachsichtige schon auf viel gröbere und harmlosere Prüfungen „hereinfällt" als der wirkliche Simulant, indem die Prüfung suggestiv wirkt; z. B. bewirkt oft schon ein ganz schwaches Konkavglas oder ein Planglas eine angebliche Besserung der S, das ist beim Simulanten nicht der Fall. Ferner macht der bewußte Simulant (der Hysteriker ist, wie Möbius treffend sagt, ein „unbewußter Simulant") bei der Sehprüfung in der Regel vor einer bestimmten Reihe Halt und liest in der nächsten überhaupt nichts mehr, während der Hysteriker manche Buchstaben noch liest und hier meist sofort die leicht zu lesenden auswählt, schwierigere Buchstaben gleich überspringt, auch macht er Verwechselungen, wie sie wirklich Schwachsichtige machen. Im übrigen bedarf es, wo Zweifel zwischen Hysterie und Simulation überhaupt bestehen kann, stets einer genauen anderweiten Untersuchung auf Hysterie, vor allem auch einer genauen Gesichtsfeldprüfung.

IV. Simulation von Farbenblindheit.

Simulation eines bestimmten Typus von Farbenblindheit richtig durchzuführen, dürfte keinem Simulanten gelingen; man wird bald zu der Alternative kommen, daß es sich entweder um hysterische oder um simulierte Farbenblindheit handeln muß; beide begehen Verwechselungen, die ein typisch Farbenblinder nicht macht (auch

totale Farbenblindheit kann nicht simuliert werden, da die Anordnung von Wollproben oder Farbenstiften nach ihrer scheinbaren Helligkeit nicht der Anordnung entsprechen wird, die ein vollkommen Farbenblinder treffen würde).

V. Simulation von Gesichtsfeldeinengung.

Nur erhebliche Gesichtsfeldeinengung ist überhaupt simulierbar; Prüfung in verschiedenem Abstand und mit Verlegung des Fixierpunktes auf den Perimeter macht aber jede Simulation undurchführbar (vgl. auch das bei der Gesichtsfeldprüfung schon Gesagte S. 193).

Dritter Teil.

Die diagnostische Verwertung der Funktionsstörungen.

Dieser Teil soll eine Übersicht über die wichtigsten diagnostischen Schlüsse bringen, die sich aus dem Befunde von Funktionsstörungen und auch aus besonders wichtigen Kombinationen von Funktionsstörungen mit objektiven Veränderungen ziehen lassen. Eine erschöpfende Darstellung ist natürlich nicht in knappem Rahmen möglich, es soll damit nur eine Anleitung und Anregung zur fruchtbaren diagnostischen Verwertung der Funktionsprüfung in allgemeinärztlichem Interesse gegeben werden.

1. Erworbene Refraktionsänderung.

Außer der allmählich auftretenden Refraktionserhöhung bei zunehmender Kurzsichtigkeit und der geringen presbyopischen Refraktionsabnahme kommen auch verschiedene Änderungen der Refraktion vor, die auf einer wirklichen Krankheitsstörung beruhen.

Zunahme der Refraktion innerhalb kurzer Zeit (weniger Monate) tritt als Vorstadium der Starentwickelung auf, indem durch Wasseraufnahme eine Volumenvermehrung der Linse mit Annäherung an die Kugelform und somit eine Wölbungszunahme ihrer Oberfläche bewirkt wird. Auch eine Abnahme des Brechungsindex der Rinde infolge der Wasseraufnahme kann eine Erhöhung der Gesamtbrechkraft der Linse bewirken. Stets ist dabei an die Möglichkeit von Diabetes zu denken, besonders bei jüngerem Alter und bei auffallend rascher Entwickelung der Refraktionserhöhung. Eine plötzliche sehr erhebliche Refraktionserhöhung wird durch Luxation der Linse in die Vorderkammer bewirkt. Weiterhin kann durch Vorrücken der Linse (Glaukom) die Refraktion

erhöht werden; mit Beseitigung der Linsenvortreibung geht auch die Refraktion zurück. (Vortäuschung von Akkommodationskrampf s. S. 128 f.).

Endlich bewirkt Keratokonus eine Refraktionserhöhung vom Beginne seiner Entwickelung an; zugleich ist dabei starke negative Aberration der peripherischen Zone des Pupillargebietes vorhanden.

2. Herabsetzung der zentralen Sehschärfe.

Alleinige optische Ursache ist wahrscheinlich, wenn objektiv eine die Herabsetzung der Sehschärfe genügend erklärende Trübung in den brechenden Medien oder Unregelmäßigkeit der Lichtbrechung nachzuweisen ist; doch ist dies immer nur eine schätzungsweise Beurteilung. Sicher wird der Ausschluß einer Wahrnehmungsstörung erst bei Nachweis normalen zentralen Farbensinnes. Ist der zentrale Farbensinn gut (Abwesenheit auch sehr kleiner Skotome!), so liegt angeborene Sehschwäche vor, meist auf Grund ursprünglich stärkerer H des betreffenden Auges (die Wahrnehmungszentren sind für die feine räumliche Unterscheidung der von den betreffenden Augen kommenden Eindrücke nicht ausgebildet, da das Auge von Kindheit an stets nur undeutliche Bilder bot).

Andererseits ist eine Herabsetzung der Sehschärfe um so wahrscheinlicher durch eine Störung des nervösen Apparates bedingt, je weniger die optischen Verhältnisse Anhaltspunkte für die Sehstörung geben, vor allem aber, wenn exzentrisch besser gesehen wird als zentral (vergl. Gesichtsfeldstörungen), ferner, wenn Metamorphopsie besteht. Im letzten Falle ist zugleich eine Störung der Netzhaut sicher, während im übrigen die Störung erst durch Prüfung des Farbensinnes und eventuell des Lichtsinnes näher charakterisiert werden kann (s. Lichtsinn- und Farbensinnstörungen).

„Normale" Sehschärfe beweist nur, daß praktisch sich geltend machende Störungen des optischen, sowie des Wahrnehmungsapparates nicht vorhanden sind. Störungen des nervösen Apparates, wie sie durch einen beginnenden Krankheitsprozeß bedingt werden, machen sich zwar sehr bald durch Funktionsstörungen bemerkbar; will man sie aber möglichst sicher ausschließen, so muß auch der Farbensinn und Lichtsinn geprüft werden.

Eine Herabsetzung der S, die sich suggestiv wesentlich bessern läßt und nicht auf bewußter Simulation beruht (s. bei dieser), ist hysterisch. (Eine „autosuggerierte", d. h. durch Vor-

stellungen bedingte Störung einer physiologischen Leistung fällt unter den heutigen Begriff der Hysterie; leichte Hysterie ist viel häufiger als schwere, und am häufigsten bei Kindern, da bei diesen die dynamischen Beziehungen der verschiedenen physiologischen Teilgebiete des Zentralnervensystems zu einander noch labiler sind als bei Erwachsenen. Zum Verständnis der Hysterie ist eine gewisse Vertrautheit mit Psychologie und Neuropathologie so unerläßlich, wie für die Bakteriologie das Mikroskop.)

3. Störungen des Lichtsinnes.

Bei Vorhandensein einer Adaptationsstörung (mit oder ohne Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit bei guter Beleuchtung) giebt über die Ursache meist schon der Augenspiegel Aufschluß. Sind keine sicheren objektiven Veränderungen vorhanden, so kommt es darauf an, ob die Störung (Hemeralopie) sich ganz allmählich im Laufe von Jahren entwickelt hat oder erst vor kurzer Zeit, seit Tagen oder Wochen, höchstens Monaten, aufgetreten ist. Im ersten Falle, bei ganz langsamer Entwickelung, ist trotz fehlender Pigmentveränderungen des Hintergrundes Retinitis pigmentosa anzunehmen, (manche gebrauchen für solche Fälle den Ausdruck „Retinitis pigmentosa sine pigmento“), indem in seltenen Fällen die Pigmentwucherung lange ausbleibt, während die Verdünnung der Netzhautgefäße, die Atrophie des Sehnerven und die Linsentrübungen der hinteren Rindenschicht sich in gewöhnlicher Weise entwickeln. Bei raschem Auftreten der Adaptationsstörungen handelt es sich entweder um akute Hemeralopie infolge von vorausgegangener Blendung (Schneeblendung, Sonnenblendung, elektrische Blendung) oder um sogenannte idiopathische Hemeralopie infolge mangelhafter Ernährung der Aderhaut, wie sie bei allgemeinen Ernährungsstörungen und bei Leberleiden (besonders bei chronischem Alkoholismus) auftritt.

Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit ohne Adaptationsstörung weist, wenn nicht stärkere, sie genügend erklärende Medientrübungen vorliegen, auf eine Störung im Leitungsapparat oder den Wahrnehmungszentren hin; zum weiteren Aufschluß ist die Augenspiegeluntersuchung, Prüfung des zentralen Farbensinnes und des Gesichtsfeldes, sowie die Kombination mit etwaigen Störungen der inneren und äußeren Augenmuskulatur zu berücksichtigen. (Siehe die betreffenden Abschnitte.)

4. Störungen des zentralen Farbensinnes.

Zunächst ist bei einer Herabsetzung des zentralen Farbensinnes stets zuerst festzustellen, ob sie erworben ist oder ob eine angeborene, nicht in einem bestimmten Teil des Gesichtsfeldes lokalisierte Farbensinnstörung vorliegt. Die Bedeutung der Unterscheidung photochemischer und neuroptischer Farbensinnstörungen ist bereits im zweiten Teil besprochen. (S. S. 170).

Photochemische Farbensinnstörungen ohne allgemeine (das ganze Gesichtsfeld betreffende) Adaptationsstörungen weisen auf eine lokale Erkrankung in der Makulagegend hin. Augenspiegel und Gesichtsfeldprüfung geben weiteren Aufschluß. Bei neuroptischen Farbensinnstörungen sind außer der ophthalmoskopischen Untersuchung vor allem auch die Ergebnisse der Gesichtsfeldprüfung wichtig, ferner die Ergebnisse der Pupillenprüfung und endlich etwaige sonstige Komplikationen von seiten der Akkommodation, der äußeren Augenmuskulatur u. s. w.

Farbensinnstörungen, die wesentliche Abweichungen von den organisch bedingten Störungstypen (einschließlich ihrer Kombinationen) zeigen, sind hysterisch oder simuliert. Wenn sie an sich mit einem organischen Störungstypus übereinstimmen, aber dabei die Prüfung der S und des Lichtsinnes (besonders der Adaptation) ein mit dem betreffenden Typus nicht im Einklang stehendes Resultat giebt, liegt Hysterie (oder eventuell Simulation) vor.

5. Gesichtsfeldstörungen.

Die allgemeine diagnostische Bedeutung der einzelnen Formen von Gesichtsfeldstörungen ist schon im zweiten Teil berücksichtigt; hier bedarf es nur noch einiger Hinweise auf besonders charakteristische Störungen und Kombinationen von solchen.

Centrales Skotom mit neuroptischer Farbensinnstörung, mit oder ohne partielle Optikusatrophie, läßt vor allem an Alkohol- und Tabakvergiftung, sowie an multiple Sklerose denken; bei Zweifel zwischen Hirngeschwulst und multipler Sklerose entscheidet es für letztere, namentlich, wenn zugleich partielle Optikusatrophie vorliegt. Bei gleichzeitiger Neuritis optici kann zentrales Skotom zu Gunsten multipler Neuritis (besonders Bleivergiftung) gegenüber Hirngeschwulst sprechen; ferner erleichtert gelegentlich zentrales Skotom die Unterscheidung multipler Neuritis von Syringo-

myelie. Zentrales Skotom bei tabischen Symptomen ist auf cerebrospinale Lues verdächtig (Oppenheim).

Regelmäßige oder nahezu regelmäßige konzentrische Einengung ohne Augenhintergrunderkrankung und ohne ausgesprochene Adaptationsstörung kann an sich jeden allgemeinen Erschöpfungszustand des Hirnes begleiten, mag dieser durch eine Hirnerkrankung oder durch eine Allgemeinerkrankung bedingt sein; im übrigen aber weist sie in erster Linie auf Hysterie hin, namentlich wenn das Verhältnis der Farbengrenzen zu einander atypisch ist. Dies ist besonders bei Unfallskranken wichtig, auch bei solchen, die nicht über Sehstörungen klagen.

Zeigen die Farbengrenzen bei konzentrischer Einengung (und normalem Hintergrund) photochemischen Typus mit ausgesprochener Adaptationsstörung (namentlich erhebliche Steigerung der Einschränkung bei mäßiger Herabsetzung der Beleuchtung), so liegt idiopatische Hemeralopie oder ein Leberleiden vor, wenn sich die Störung innerhalb kurzer Zeit (Wochen oder höchstens Monaten) entwickelt hat; wenn sie aber sehr langsam entstand, ist „Retinitis pigmentosa sine pigmento“ anzunehmen.

Ausgedehnte Gesichtsfeldeinengungen bei einfacher, doppelseitiger Optikusatrophie weisen besonders auf Tabes und Paralyse, wenn die Gesichtsfeldstörung nicht der Atrophie vorausgegangen ist; ging ausgesprochene Gesichtsfeldstörung (und Herabsetzung der S) einer Optikusatrophie voraus, so liegt absteigende Atrophie infolge retrobulbärer Entzündung oder intrakranieller entzündlicher oder Druckschädigung des Sehnerven vor (Gummöse Meningitis, Periostitis am Foramen opticum).

Auffallendes Schwanken bei Gesichtsfeldstörungen von hemianopischem (besonders bitemporal hemianopischem) Charakter macht syphilitische Meningitis wahrscheinlich (Oppenheim).

Homonyme Hemianopsie mit halbseitigen Halluzinationen, ferner mit irgend welcher Form partieller Seelenblindheit, weist auf den zur Hemianopsie gekreuzten Hinterhauptlappen; bei allgemeiner oder nahezu allgemeiner Seelenblindheit sind beide Hinterhauptlappen geschädigt.

Homonyme Hemianopsie mit entsprechend hemianopischer Pupillenstarre ist durch direkte oder indirekte Schädigung eines Tractus opticus oder des äußeren Kniehöckers bedingt.

Homonyme Hemianopsie mit Lähmung des contra-

lateralen Oculomotorius (und ev. auch Trochlearis und Abducens) kann sowohl durch Affektion der mittleren Schädelgrube wie auch durch einen Absceß (oder Tumor) des Schläfenlappens verursacht werden; im letzteren Fall ist die Hemianopsie durch Schädigung der Sehstrahlung bedingt und meist von Hemianästhesie, oft auch von sensorischen Sprachstörungen begleitet.

Die lokaldiagnostische Bedeutung bitemporaler Störungen ist schon im zweiten Teil angeführt; gelegentlich können solche Störungen die Diagnose einer beginnenden Akromegalie erleichtern.

Auch ein normaler Gesichtsfeldbefund mit normalem zentralem Farbensinn kann diagnostisch wichtig werden: bei dem Spiegelbefund einer doppelseitigen Stauungspapille läßt die gute Netzhautleistung eine absteigende Neuritis ausschließen, also reine Stauungspapille und somit sehr wahrscheinliche Hirngeschwulst annehmen.

6. Pupillenstörungen.

Isolierte reflektorische und akkommodative Pupillenstarre, sowie organisch bedingte Sphinkterlähmung, ohne gleichzeitige oder vorausgegangene Lähmung äußerer Okulomotoriuszweige (einschließlich Lidheber) weisen als bestimmte Lokalsymptome auf die Hirnschenkelgegend. Diese Störungen sind zugleich wichtige Allgemein- und Artsymptome von Hirnerkrankungen: reflektorische Starre weist sehr entschieden auf Tabes oder Paralyse, namentlich giebt sie für letztere den Ausschlag gegenüber bloßer Neurasthenie und Hysterie, reinen Psychosen, sekundärer sowie seniler Demenz, Pachymeningitis interna haemorrhagica, chronischer Bleivergiftung. Organisch bedingte Sphinkterlähmung ist auch bei Tabes und Paralyse nicht selten, aber wohl häufiger, besonders mit Akkommodationslähmung zusammen als Ophthalmoplegia interior, ein Zeichen noch bestehender Lues. Die sehr seltene reine akkommodative Starre mit Akkommodationslähmung (die aber der akkommodativen Starre nicht parallel zu gehen braucht), ist in der Regel syphilitisch.

Reine reflektorische und akkommodative Starre aus anderen Ursachen (Alkoholismus, Enkephalitis, Solitärtuberkel) sind äußerst selten; ausnahmsweise können jene Störungen wohl auch angeboren sein.

Unregelmäßige Form der Pupillen ist, bei Ausschluß traumatischer Ursache, in der Regel ein Vorstadium reflektorischer

oder allgemeiner Starre, namentlich wenn partielle Störungen der Beweglichkeit damit verbunden sind; aber auch Aderhauttumor kann zu Grunde liegen (Kompression einzelner Nervenzweige).

Die lokaldiagnostische Bedeutung der hemianopischen Pupillenstörungen ist schon bei deren Besprechung im 2. Teil genügend gewürdigt worden.

Doppelseitige spastische Mydriasis ist eine nicht seltene Erscheinung bei Psychosen und Neurosen; sie schwankt oft in ihrem Verhalten innerhalb kurzer Zeit. Einseitige flüchtige oder auf beiden Seiten abwechselnde Mydriasis, sogen. „springende Mydriasis“, weist im allgemeinen mehr auf eine organische Erkrankung hin (Encephalitis, Paralyse), kann aber auch rein funktionell bedingt sein, wenn die Licht- und Konvergenzreaktion dabei gut ist; in diesem Fall ist die Mydriasis stets eine spastische. (Über Vortäuschung springender Mydriasis durch einseitige reflektorische Starre s. S. 222). In der Kasuistik findet man leider selten eine genügende Charakterisierung der Art der Mydriasis.

Geringe spastische Mydriasis ist meist durch Sympathikusreizung bedingt, namentlich, wenn sie mit Erweiterung der Lidspalte verbunden ist; die Ursachen der Sympathikusreizung fallen mit denen der Sympathikuslähmung zusammen (s. unten, paralytische Miosis), meist wird daher die Sympathikusmydriasis später von paralytischer Miosis abgelöst.

Spastische Miosis, meist doppelseitig, ist bei akuter Meningitis nicht selten, und zuweilen mit Konvergenzkrampf verbunden. Diese Kombination kommt indes auch bei Hysterie vor, wobei ihr Charakter aus der Prüfung der Konvergenzstörung meist gut zu erkennen ist. Ferner findet man doppelseitige Miosis bei Morphiumvergiftung, endlich bei Brückenblutungen; es ist aber noch unsicher, ob die Miosis in diesen Fällen spastisch oder paralytisch ist, oder auch beides zugleich.

Paralytische Miosis ist — bei Ausschluß traumatischer Ursachen — stets durch eine Störung des Halssympathikus bedingt, sei es in seinem medullären Ursprung und Verlauf oder in seinem extramedullärem Verlauf bis zu den Ciliarnerven. Gewöhnlich, aber nicht immer, ist die paralytische Miosis mit geringer oder mäßiger Ptosis (Sympathikusptosis) verbunden (Hornerscher Symptomkomplex). Weitaus die häufigste Ursache ist Struma; Kompression durch vergrößerte Lymphdrüsen oder Geschwülste oder

Aneurysma (besonders der Aorta) kann ebenfalls zu paralytischer Miosis führen.

Von Erkrankungen des Halsmarks und obersten Brustmarks kommen besonders Myelitis und Syringomyelie in Betracht; so kann eine paralytische Miosis mit Sympathikusptosis (bei Ausschluß einer Struma etc.) zur Unterscheidung einer Syringomyelie von Tabes, amyotrophischer Lateralsklerose, hereditärer Ataxie, multipler Sklerose, progressiver Paralyse, Polyneuritis, Nervenlepra, progressiver Muskelatrophie und auch von Hysterie dienen.

Das Verhalten der Reflexempfindlichkeit eines Auges bei Sehstörungen kann zur Entscheidung zwischen entzündlichen und durch Kompression bedingten Sehnerverkrankungen beitragen: entspricht die Reflextaubheit eines Auges ungefähr dem Grad der Sehstörung, so ist entzündliche Erkrankung wahrscheinlich, ist sie verhältnismäßig gering im Vergleich mit der Sehstörung, so ist Kompression des Sehnerven von der Umgebung her wahrscheinlicher, da die Pupillenfasern des Sehnerven gegen Druck im Ganzen widerstandsfähiger sind als die Sehfasern (O. Schirmer).

7. Akkommodationsstörungen.

Im 2. Teil ist schon besprochen, wie bei einer Akkommodationsstörung bestimmt werden kann, ob sie medikamentöser oder organischer oder funktioneller (besonders hysterischer) Natur ist.

Ist eine Ophthalmoplegia interior vom Charakter der medikamentösen Lähmung von allgemeinen Vergiftungserscheinungen begleitet, die einer Atropinvergiftung entsprechen, so kommt außer einer Alkaloidvergiftung (auch Skopolamin, Hyposcyamin, Tollkirsche können in Frage kommen) Fleisch- oder Fisch- oder Austernvergiftung in Betracht, vor allem, wenn mehrere zusammenlebende Personen gleichzeitig erkrankt sind. Eine solche Nahrungsmittelvergiftung ist sicher, wenn außerdem noch Lähmungen äußerer Muskel und besonders des Lidhebers vorliegen.

Doppelseitige organische Akkommodationslähmung ohne Pupillenstörung weist besonders auf vorausgegangene Diphtherie hin (hygienisch wichtig!), auch wenn sie mit einer äußeren Augenmuskellähmung kombiniert ist; durch Influenza könnte eine solche Lähmung aber auch bedingt sein.

Über organisch bedingte Ophthalmoplegia interior s. unter 6. S. 309.

8. Störungen der äußeren Augenmuskel (einschließlich Lidmuskel).

a. Diagnostische Bedeutung von Augenmuskelstörungen überhaupt.

Mindestens etwa der Hälfte aller Augenmuskellähmungen liegt Lues zugrunde, sei es, daß noch direkt syphilitische Prozesse vorliegen, oder daß die Lähmungen Begleit- oder Anfangssymptom einer Tabes oder Paralyse sind, deren sonstigen Symptomen sie selbst um Jahre vorausgehen können.

Ist einem apoplektischen Insult eine Augenmuskellähmung schon vorausgegangen, so liegt starker Verdacht auf Paralyse vor. Eine nach einem apoplektischen Anfalle zurückbleibende Augenmuskellähmung spricht dagegen für Blutung in Brücke oder Hirnschenkel (s. unter b.).

Eine akut aufgetretene Augenmuskellähmung in kindlichem oder jugendlichem Alter, ohne Allgemeinsymptome einer Hirnerkrankung, läßt auch ohne gleichzeitige Akkommodations- und Gaumenlähmung eine vorausgegangene leichte Halsentzündung nachträglich als diphtheritisch erkennen.

Bei Zweifel zwischen gummöser Meningitis der Konvexität weist das Hinzukommen einer Augenmuskellähmung (Übergreifen des Prozesses auf die Basis!) auf gummöse Meningitis.

Augenmuskellähmung mit heftigem Kopfschmerz und großer Empfindlichkeit bei Perkussion des Schädels (besonders am großen Keilbeinflügelfortsatz) ist sehr verdächtig auf Geschwulst der mittleren Schädelgrube.

Augenmuskellähmung mit doppelseitiger einfacher Optikusatrophie ist so gut wie sicher tabisch oder paralytisch.

b. Diagnostische Bedeutung bestimmter Lähmungsformen.

Eine nach ausgiebigen Augenbewegungen sich auffallend steigernde Augenmuskellähmung, besonders Ptosis, oder eine darnach erst auftretende ausgeprägte (und nach Ruhe wieder fast oder ganz zurückgehende) Lähmung ist für asthenische Bulbärparalyse charakteristisch.

Paralytische konjugierte Ablenkung (assoziierte Blicklähmung) mäßigen Grades mit gleichnamiger Extremitätenlähmung (die Augen sehen von den gelähmten Extremitäten

weg) ist durch gekreuzte Großhirnaffektion bedingt (die Augen sehen den Großhirnherd an).

Bei paralytischer Ablenkung mit gekreuzter Extremitätenlähmung (die Augen sehen nach den gelähmten Extremitäten hin), und ebenso bei isolierter paralytischer Ablenkung ist ein zur Blicklähmung gleichseitiger, d. h. gleichnamiger Brückenherd anzunehmen (die Augen sehen vom Brückenherd weg).

Kombination einer Extremitätenlähmung mit Lähmung eines gekreuzten Abducens oder Facialis (oder beider Nerven zusammen) weist ebenfalls auf einen Herd in (oder an der Basis) der Brücke hin, Kombination mit gekreuzter Okulomotoriuslähmung auf den Hirnschenkel (aber auch Stirnhirntumor ist möglich, besonders wenn die Extremitäten nur mäßig paretisch sind [Bruns]).

Alle diese kombinierten Lähmungsformen werden unter die Bezeichnung Hemiplegia alternans zusammengefaßt.

Organische Konvergenzlähmung ist ebenfalls Brückensymptom.

Blicklähmung nach rechts oder links entscheidet bei Zweifel zwischen Meningitis und Enkephalitis für letztere (besonders bei Kindern wichtig, damit nicht irrigerweise tuberkulöse Meningitis diagnostiziert wird); Lähmung einzelner Augenmuskelnerven dagegen spricht in einem derartigen Fall für Meningitis.

Spastische konjugierte Ablenkung der Augen und des Kopfes ist fast stets durch Großhirnerkrankung bedingt; bei Zweifel zwischen urämischem, diabetischem und apoplektischem Koma spricht sie für die letzte Form.

Reine Ophthalmoplegia exterior, mit oder ohne Ptosis, ist, besonders wenn sie längere Zeit als solche besteht, durch nukleäre Erkrankung bedingt; bei langsamem Auftreten ist Lues oder progressive Ophthalmoplegie anzunehmen, bei akutem Auftreten unter Kopfschmerz und Benommenheit liegt Poliencephalitis superior vor.

Lähmung aller drei Augenmuskelnerven eines Auges nebst Störungen des ersten Trigeminusastes, mit oder ohne einseitige Sehnervenstörung, ist auf eine Affektion in der Gegend der Fissura orbitalis superior (meist Periostitis) zu beziehen; einseitige Lähmung eines oder mehrerer Augenmuskelnerven mit oder ohne Hemianopsie auf die mittlere Schädelgrube oder den Sinus cavernosus (Aneurysma der Karotis!)

Blicklähmung nach oben oder nach unten, oder eine einer Blicklähmung ähnliche asymmetrische Lähmung der Heber oder der Senker beider Augen läßt eine Erkrankung der Vierhügel annehmen.

Einseitige Lähmung des Okulomotorius oder mehrerer Augenmuskelnerven mit doppelseitiger Stauungspapille spricht für einen seitlich gelegenen, doppelseitige Okulomotoriuslähmung mit doppelseitiger Stauungspapille für einen median gelegenen Tumor der mittleren Schädelgrube, und zwar mehr nach hinten, wenn keine auf Chiasmaerkrankung weisende Gesichtsfeldstörungen vorhanden sind (vgl. S. 198).

Okulomotoriuslähmung nach vorausgegangenen Kopfschmerzen, die mit dem Eintritt der Lähmung verschwinden, weist auf periodische Lähmung hin, vor allem bei jugendlichem oder kindlichem Alter. (Kopfschmerzen sind aber nicht bei allen periodischen Okulomotoriuslähmungen vorhanden, ihre Abwesenheit spricht also nicht gegen rezidivierende Lähmung).

Einseitige Okulomotoriuslähmung mit gekreuzter Hemiataxie ist durch einen Herd im Haubengebiet des Hirnschenkels bedingt; bei langsamer Entwicklung ist Tumor (event. Solidärtuberkel) anzunehmen.

Bei doppelseitiger Trochlearislähmung ist das Höhlengrau unter dem hinteren Ende des Aquäduktus (Trochleariskern) oder die Gegend des vorderen Marksegels erkrankt (Trochleariskreuzung), vorausgesetzt, daß eine ausgedehnte basale Erkrankung ausgeschlossen ist. Diese Lähmung kann indes auch als hydrozephalisches Allgemeinsymptom auftreten (durch Druckwirkung vom 4. Ventrikel aus auf das vordere Marksegel analog dem Druck vom 3. Ventrikel auf das Chiasma), wie ich bei einem Fall von (erfolgreich von Dr. Thies operiertem) extraduralem Abszeß mit seröser Meningitis beobachten konnte.

Ein- oder doppelseitige Trochlearislähmung mit cerebellarer Ataxie (und Stauungspapille) weist auf Geschwulst des Oberwurms oder der hinteren Vierhügel oder der Zirbeldrüse.

Abducens-, Facialis-, Trigeminusaffektion, oder assoziierte Blicklähmung bei Hirntumorsymptomen, die für sich noch keine Lokaldiagnose gestatten, entscheiden für das Kleinhirn, und zwar auf Seite der gelähmten Nerven.

Kombination einer Augenmuskelstörung mit Facialis-

lähmung spricht bei Zweifel, ob Tabes oder noch aktive Syphilis vorliegt, mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit für Syphilis.

Über die Kombination doppelseitiger Akkommodationslähmung ohne Pupillenstörung mit äußerer Augenmuskellähmung s. S. 311; über die Kombination von Augenmuskellähmungen mit Hemianopsie S. 308.

Über diagnostische Bedeutung eines erworbenen Nystagmus, ebenso über dissoziierte Augenbewegungen ist schon im 2. Teil das Nötige gesagt (S. 277 u. 279).

Störungen der Lidbewegung kommen diagnostisch hauptsächlich durch ihre Kombination mit Pupillenstörungen und mit Augenmuskellähmungen in Betracht, was schon oben Erwähnung fand. Im übrigen ist ihre diagnostische Bedeutung großenteils schon im 2. Teil berücksichtigt.

Isolierte Levatorlähmung kann durch einen gekreuzten Großhirnherd, wahrscheinlich im Scheitellappen, bedingt sein. Noch wahrscheinlicher ist diese Lokalisation bei Kombination mit gleichseitiger Körperlähmung.

Sachregister.

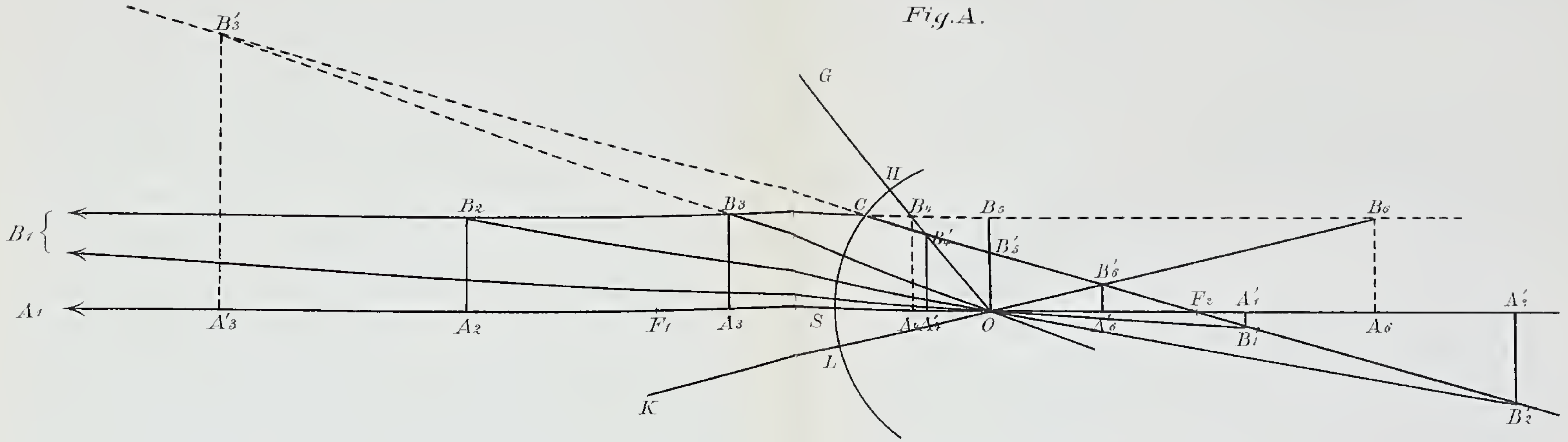


Fig. A.

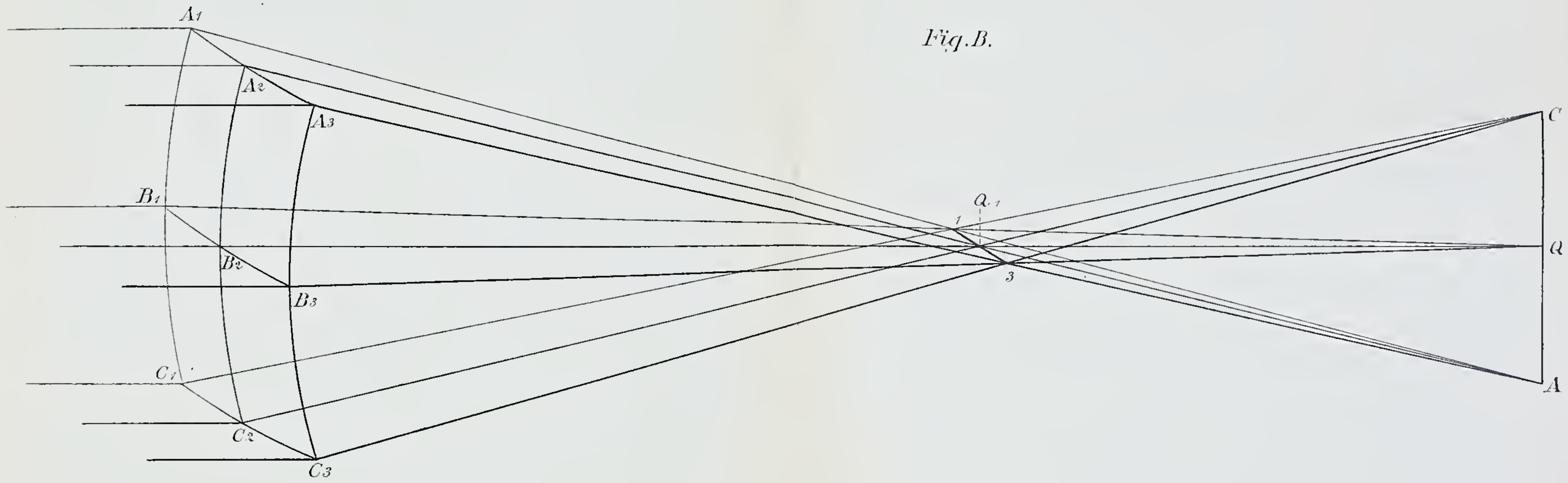


Fig. B.

Verlag Veit & Comp Leipzig

Lith. Anst. v. E. A. Funke Leipzig